



TUGAS AKHIR – TI 141501

**ANALISA PERBAIKAN DESAIN *GYROPLANE* DI PT. BAYU AIRCRAFT
INDONESIA DENGAN PENDEKATAN *DESIGN FOR ASSEMBLY* (DFA)**

HOLLY APHRODITA
NRP 2511.100.143

DOSEN PEMBIMBING:
Putu Dana Karningsih, S.T., M.Sc., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT – TI 141501

**ANALYSIS OF REDESIGN GYROPLANE AT PT. BAYU AIRCRAFT
INDONESIA WITH DESIGN FOR ASSEMBLY (DFA) APPROACH**

HOLLY APHRODITA
NRP 2511.100.143

SUPERVISOR:
Putu Dana Karningsih, S.T., M.Sc., Ph.D.

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PERBAIKAN DESAIN *GYROPLANE* DI PT. BAYU AIRCRAFT INDONESIA DENGAN PENDEKATAN *DESIGN FOR ASSEMBLY* (DFA)

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi-S1 Jurusan Teknik Industri
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

HOLLY APHRODITA
NRP. 2511 100 143

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :



Putu Dana Karningsih, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP. 197405081999032001



ANALISA PERBAIKAN DESAIN *GYROPLANE* DI PT. BAYU AIRCRAFT INDONESIA DENGAN PENDEKATAN *DESIGN FOR ASSEMBLY* (DFA)

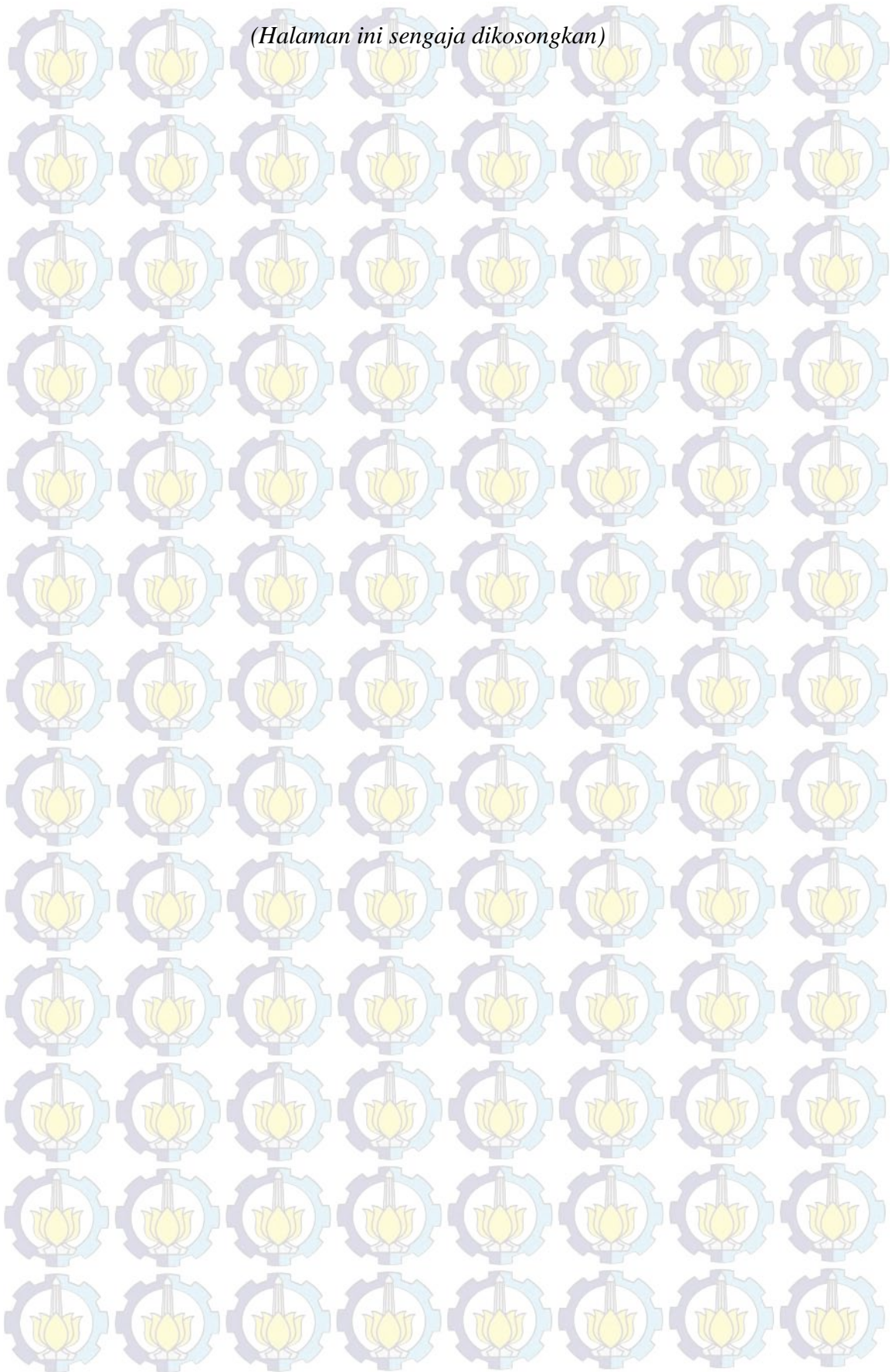
Nama Mahasiswa : Holly Aphrodita
NRP : 2511100143
Pembimbing : Putu Dana Karningsih, S.T., M.Sc., Ph.D

ABSTRAK

Proses perancangan produk menjadi hal yang sangat penting dalam menentukan efisiensi biaya dan waktu produksi. Terutama jika produk tersebut terdiri dari banyak komponen penyusun seperti *Rotor Head Gyroplane* milik PT. Bayu Aircraft Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk membuktikan bahwa desain sangat berpengaruh pada keseluruhan aspek produk, salah satunya pada tingkat kesulitan perakitan suatu produk. Analisa yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan analisa *Design for Assembly* (DFA) pada *software Design Manufacturing and Assembly* (DFMA) Boothroyd dan Dewhurst. Langkah awal yang dilakukan adalah mengidentifikasi komponen penyusun dan tahapan perakitan *rotor head*. Kemudian menganalisa desain awal yang telah digunakan oleh perusahaan untuk mendapatkan data terkait *minimum part criteria*, *labor time*, *labor cost*, *assembly tool/fixture*, *item costs*, *total cost* dan DFA indeks. Selanjutnya menganalisa desain perbaikan *rotor head* dari hasil *Focus Group Discussion*. Kemudian membandingkan secara keseluruhan untuk mendapatkan desain terbaik berdasarkan konsep DFA. Hasil analisa menunjukkan bahwa desain perbaikan memiliki efisiensi perakitan lebih tinggi dibandingkan dengan desain awal. Hal itu ditunjukkan pada peningkatan DFA Indeks, di mana pada desain awal adalah 1,58 dan pada desain perbaikan menjadi 2,14. Untuk waktu pengerjaan dan biaya tenaga kerja dapat direduksi masing-masing sebanyak 23,34% dan 23,68%. Sistem perakitan ini juga menjadi lebih meningkat dengan dilakukannya perbaikan *layout* kerja dan penambahan *fixture*. Di mana dapat meningkatkan DFA Indeks menjadi 2,24 dan mereduksi waktu pengerjaan serta biaya tenaga kerja masing-masing sebanyak 49,84% dan 34,21%. Hal tersebut membuktikan bahwa perancangan desain suatu produk memiliki pengaruh penting terhadap tingkat kesulitan perakitan dan produksinya

KATA KUNCI: Boothroyd and Dewhurst, *Concurrent Engineering*, DFA, DFMA, *Rotor Head Gyroplane*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



ANALYSIS OF REDESIGN GYROPLANE AT PT. BAYU AIRCRAFT INDONESIA WITH DESIGN FOR ASSEMBLY (DFA) APPROACH

Name : Holly Aphrodita
NRP : 2511100143
Supervisor : Putu Dana Karningsih, S.T., M.Sc., Ph.D

ABSTRACT

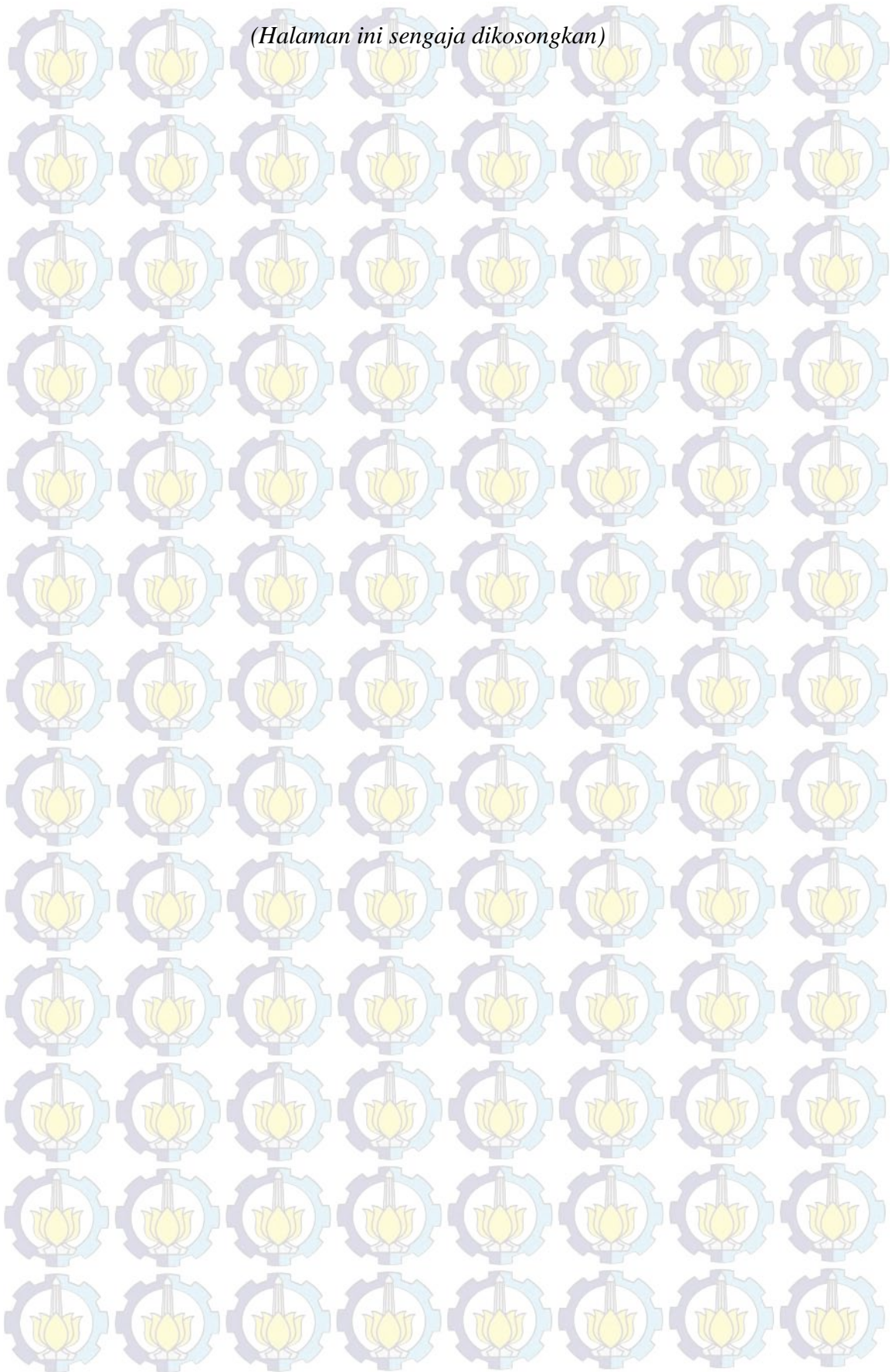
The design process the product being of crucial importance in determining of cost efficiency and production time . Especially if that product consisting of many components building blocks as the RotorHeadGyroplane owned by PT . Bayu Aircraft Indonesia. The cost and labor time of the assembly process as well as the labor costs incurred to assemble the product of obstruction depend on the level of difficulty and the number of components that must be assembled. This study aims to prove that the design is very influential on the overall aspects of the product, one of them on the level of difficulty of assembling a product.

The analysis performed in this study is done using analysis Design for Assembly (DFA) on software Design Manufacturing and Assembly (DFMA) Boothroyd and Dewhurst. The first step is to identify the constituent components and rotor head assembly stages as well as references to other related. Then analyze the initial design has been used by companies to obtain data related to minimum criteria parts, labor time, labor cost, assembly tool / fixture, item costs, total costs and DFA index. Next is to analyze the design of improvement rotor head from the Focus Group Discussion based on aspects of the analysis in the early design. Then compare overall to get the best design based on the concept of DFA.

The analysis result showed that the initial design can be improved to increase the efficiency of the assembly. It was shown in the increase in DFA index, in which the initial design was 1,58 and the design of improvements to be 2,14. For working time and labor costs can be reduced as much as respectively 23.68% 23.34% and. The assembly system also be further improved by the work done layout improvements and additions to the fixture. Where can increase the DFA index becomes 2,24 and reducing processing time and labor costs each as much as 49.84% and 34.21%. It is proved that designing a product has a significant influence on the level of difficulty of assembly and production

KEYWORD: *Concurrent Engineering, DFA, DFMA, Boothroyd and Dewhurst, Rotor Head Gyroplane*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah Tuhan Semesta Alam, yang atas berkat rahmat, taufik dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian Tugas Akhir yang berjudul “Analisa Perbaikan Desain *Gyroplane* Di PT. Bayu Aircraft Indonesia dengan Pendekatan *Design For Assembly* (DFA)”. Laporan Tugas Akhir ini diajukan sebagai syarat untuk menyelesaikan studi Strata-1 di Jurusan Teknik Industri. Selama pelaksanaan dan penyusunan laporan Tugas Akhir ini, penulis telah menerima banyak bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Keluarga penulis, Bapak Solikin dan Ibu Ambar Sri Wahyuning Tyas yang telah menjadi Ayah dan Ibu terhebat dan senantiasa mengirim doa serta motivasi, saudara-saudara penulis yang atas cambuk semangatnya membuat penulis resah jika menunda pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Mas Nanang Suroso, selaku kakak, sahabat, calon pendamping hidup yang bersedia mendengar keluh kesah penulis selama proses pengerjaan dan membuat penulis terdorong untuk segera menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Putu Dana Karningsih, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingannya kepada penulis selama pelaksanaan Tugas Akhir.
4. Bapak Udisubakti dan Bapak Hari selaku dosen penguji yang telah memberikan arahan dan menyempurnakan Tugas Akhir ini.
5. Mas Domingo Bayu selaku pembimbing dari perusahaan PT. Bayu Aircraft Indonesia yang tanpa bantuannya, Tugas Akhir ini mustahil dapat terselesaikan.
6. Bapak Budi Santosa, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Industri ITS Surabaya.
7. Teman-teman seperjuangan satu bimbingan Tugas Akhir, Mbak Ripuj, Martian, Riza, Mas Inok dan Mas Salman. Terima kasih atas dukungan, doa dan semangatnya.
8. Sahabat tempat curhat dan berbagi suka duka, Choirunisa Dhara Pamungkas dan Fadel Muhammad, tanpa kalian *aku mah apa atuh*. Maafkan jika kadang-kadang ada kata dan tindakanku yang tidak sengaja menyakiti. Keberadaan kalian memberi dampak yang luar biasa positif.

9. Sahabat-sahabat laskar hitam, keluarga ITS Online tercinta, Teguh, Ali, Ady, Firman, Marsha, Fifi, Akhmadi, Agus, Hilmi, Puspa, Golda, Owi, dll, keluarga heboh, alay dan super kepo, bersama kalian penulis banyak belajar hal baru.
10. Sahabat-sahabat penulis, *konco nginep*, kawan berburu takjil dan saling membangunkan ketika sahur selama Ramadan 1436 H, Lucky, Rinda, Dhillia, Didik, Edwin Ardiansyah, Fiqi, Mas Rino.
11. Kawan luar biasa baik, Ardiansyah Teknik Elektro 2011, yang telah meminjamkan laptopnya untuk proses pengerjaan laporan Tugas Akhir ini. Tanpanya, perjalanan Tugas Akhir ini akan sangat sulit.
12. Asisten Lab Sistem Manufaktur, Martian, Ines, Feny, Fais, Sasa, Ziyad, Denisa, dll yang telah mengizinkan penulis bermalam dan lembur di lab selama pengerjaan serta memberi bimbingan ketika penulis mengalami kesulitan.
13. Asisten Lab Ergonomi dan Perancangan Sistem Kerja, Dhara, Lucky, Aulia, Taqy, Mbaecom, Kafitrai, Syarif, dll *suwun* banget telah menjadi keluarga dan mengizinkan penulis bermalam dan lembur di lab.
14. Sahabat ngekos, saudara selama di Surabaya, Shafa dan Winda atas segala bantuan dan dukungannya selama ini.
15. Keluarga besar Veresis, atas semua bantuan dan dukungan serta rasa kekeluargaan yang telah diberikan.
16. Seluruh Karyawan Humas ITS, Pak Hadi, Mbak Tyas, Bu Yana, Mbak Indah, Mbak Rina, Mas Sendy, Mas Wahyu, Mas Tommy, yang secara tidak langsung memberikan motivasi kepada penulis untuk segera menyelesaikan Tugas Akhir ini.
17. Semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungannya kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam laporan yang telah disusun ini. Karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik untuk kesempurnaan laporan di masa yang akan datang.

Surabaya, Juli 2015

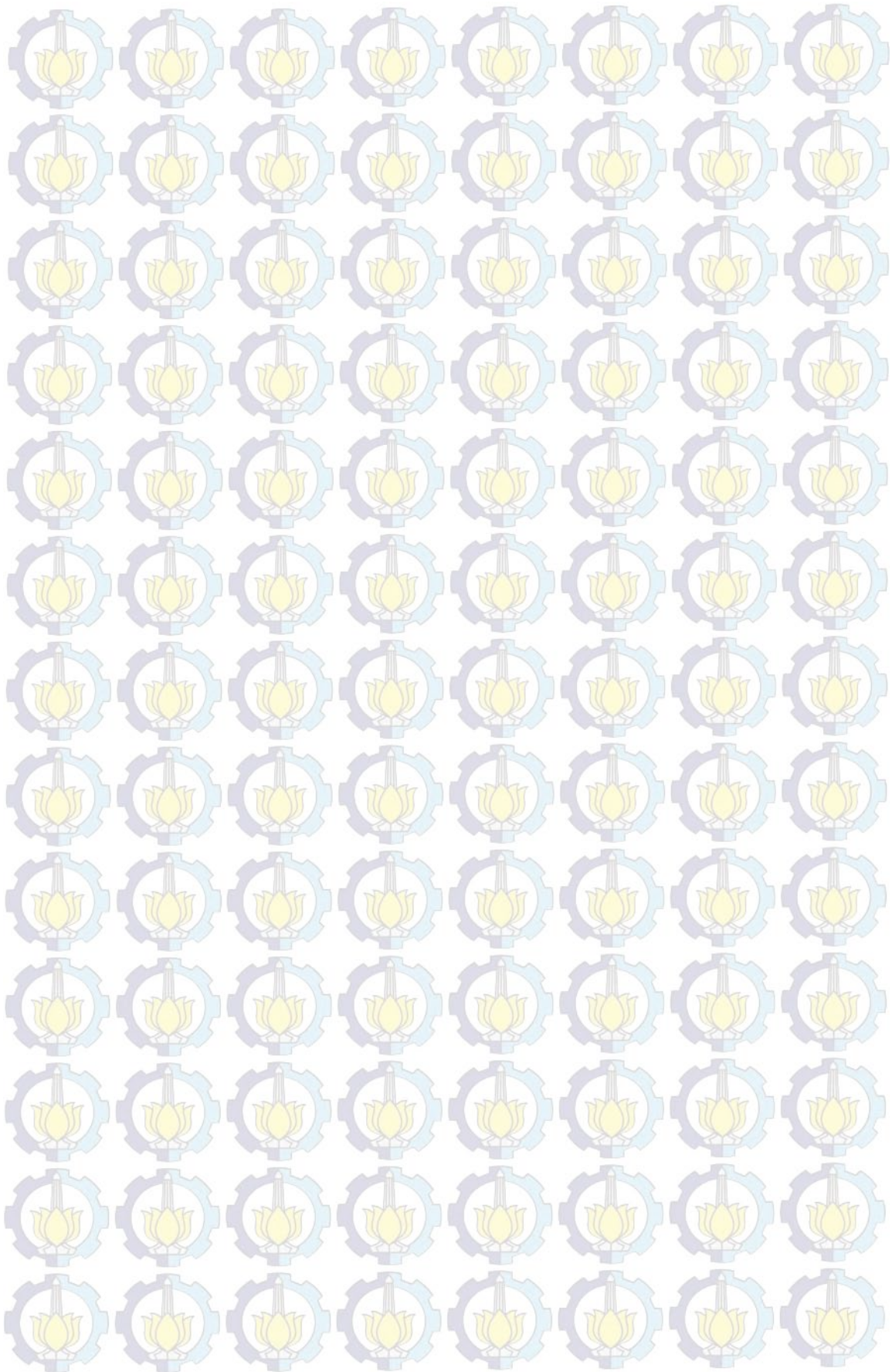
Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR GAMBAR	xixx
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Permasalahan	8
1.3 Tujuan Penelitian	8
1.4 Manfaat Penelitian	8
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	8
1.5.1 Batasan	9
1.5.2 Asumsi	9
1.6 Sistematika Penulisan	9
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1 Definisi Concurrent Engineering (CE)	11
2.2 Element Concurrent Engineering	14
2.3 <i>Concurrent Engineering House</i>	16
2.4 <i>Design for Manufacturing and Assembly (DFMA)</i>	17
2.5 <i>Design for Assembly (DFA)</i>	19
2.5.1 Definisi <i>Design for Assembly (DFA)</i>	19
2.5.2 Metode Boothroyd Dewhurst untuk Evaluasi DFA	19
2.5.3 <i>Guidelines DFA</i>	21
2.6 <i>Design for Manufacturing (DFM)</i>	22
2.6.1 Definisi <i>Design for Manufacturing (DFM)</i>	22
2.6.2 <i>Guidelines DFM</i>	24
2.7 <i>DFMA Software</i>	24

2.7.1	DFA <i>Software</i>	24
2.8	Rancang Bangun <i>Rotor Head Gyroplane</i>	31
2.9	Peta-peta Kerja	34
2.9.1	Peta Tangan Kiri dan Tangan Kanan.....	35
2.9.2	Prinsip-prinsip Ekonomi Gerakan	37
2.9.3	Studi Waktu	38
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		39
BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....		43
4.1	Pengumpulan Data.....	43
4.2	Data Desain Awal	44
4.2.1	Komponen Penyusun Desain Awal	44
4.2.2	Deskripsi Proses Produksi.....	46
4.2.3	Deskripsi Proses Perakitan	48
4.2.4	<i>Assembly Chart</i> Proses Perakitan Desain Awal	48
4.2.5	Biaya Perakitan.....	50
4.3	Pengolahan Data Desain Awal	50
4.3.1	<i>Input Data</i> pada <i>Software</i>	50
4.3.2	Hasil <i>Running Software</i>	61
4.3.3	Identifikasi Komponen	62
4.3.3	Waktu, Biaya Perakitan dan <i>Assembly Efficiency</i> Desain Awal	63
4.2	Desain Perbaikan	64
4.4.1	Komponen Penyusun Desain Perbaikan.....	65
4.4.2	Deskripsi Proses Perakitan	67
4.5	Pengolahan Data Desain Perbaikan.....	67
4.5.1	<i>Input Data</i> Desain Perbaikan pada <i>Software</i>	67
4.5.2	Hasil <i>Running Software</i>	74
4.5.2	Waktu, Biaya Perakitan dan <i>Assembly Efficiency</i> Desain Perbaikan ...	75
4.6	<i>Assembly Sequence</i>	76
4.7	<i>Operator Process Chart</i>	79

4.7.1	<i>Operator Process Chart</i> Perakitan Awal	79
4.7.2	<i>Operator Process Chart</i> Perbaikan	89
4.8	Penggunaan <i>Jig and Fixture</i>	96
4.9	Hasil Perhitungan DFA	97
BAB 5 ANALISA DAN INTERPRETASI DATA		99
5.1	Analisis Desain Awal	99
5.2	Analisis Desain Perbaikan	99
5.2.1	Analisis Identifikasi Komponen	99
5.2.2	Analisis <i>Suggestion for Redesign</i>	100
5.2.3	Analisis Waktu, Biaya dan <i>Assembly Efficiency</i>	102
5.3	Analisis Perbaikan Sistem Perakitan <i>Rotor Head</i>	103
5.3.1	Analisis Perbaikan <i>Layout</i> Kerja	103
5.3.2	Analisis Penggunaan <i>Fixture</i>	104
5.4	Analisis Perbandingan Desain Awal dan Hasil Perbaikan	104
KESIMPULAN DAN SARAN		111
6.1	Kesimpulan	111
6.2	Saran	112
DAFTAR PUSTAKA		113
LAMPIRAN		115
BIODATA PENULIS		129



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Pengaruh Tiap Bagian Pengembangan Produk pada Biaya Produksi	2
Gambar 1.2 Desain <i>Gyroplane</i>	5
Gambar 1.3 (a) Desain <i>Rotor Head</i> . (b) <i>Rotor Head Disassembly</i>	7
Gambar 2.1 Filosofi Pengembangan Produk Secara Seri	11
Gambar 2.2 Kondisi <i>Over-the-wall Approach</i>	12
Gambar 2.3 Pengembangan Produk Secara Tradisional	12
Gambar 2.4 Pengembangan Produk dengan Prinsip <i>Concurrent Engineering</i>	13
Gambar 2.5 Elemen-elemen CE.....	15
Gambar 2.6 <i>CE House</i>	16
Gambar 2.7 Tahapan DFMA pada DFMA Software	18
Gambar 2.8 Urutan Metode DFM.....	23
Gambar 2.9 <i>Add Part</i> dan <i>Add Subassembly</i>	27
Gambar 2.10 Tampilan <i>Item Type</i> Pada Software DFA.....	28
Gambar 2.11 Tampilan <i>Securing Method</i> Pada Software DFA	28
Gambar 2.12 Tampilan <i>Minimum Part Criteria</i> Pada Software DFA	29
Gambar 2.13 Tampilan <i>Envelope Dimensions</i> Pada Software DFA.....	29
Gambar 2.14 Tampilan <i>Symmetry</i> Pada Software DFA.....	30
Gambar 2.15 Tampilan <i>Handling Difficulties</i> dan <i>Insertion Difficulties</i> Pada Software DFA.....	30
Gambar 2.16 Tampilan <i>Manufacturing Data</i> Pada Software DFA.....	30
Gambar 2.17 <i>Add Operation</i>	31
Gambar 2.18 Detail <i>Rotor Head</i>	32
Gambar 2.19 <i>Main Rotor</i>	33
Gambar 2.20 Contoh Lembar Kerja Peta Tangan Kiri dan Tangan Kanan	35
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian Tugas Akhir	41
Gambar 4.1 <i>Rotor Head</i> dengan Beberapa Komponen Lain	43
Gambar 4.2 <i>Rotor Head Gyroplane</i>	44

Gambar 4.3 <i>Add Part</i> dan <i>Add Subassembly</i>	51
Gambar 4.4 Tampilan <i>Item Type</i> Pada <i>Software DFA</i>	53
Gambar 4.5 Tampilan <i>Securing Method</i> Pada <i>Software DFA</i>	54
Gambar 4.6 Tampilan <i>Minimum Part Criteria</i> Pada <i>Software DFA</i>	55
Gambar 4.7 Tampilan <i>Envelope Dimensions</i> Pada <i>Software DFA</i>	56
Gambar 4.8 Tampilan <i>Symmetry</i> Pada <i>Software DFA</i>	57
Gambar 4.9 Tampilan <i>Handling Difficulties</i> dan <i>Insertion Difficulties</i> Pada <i>Software DFA</i>	58
Gambar 4.10 Tampilan <i>Manufacturing Data</i> Pada <i>Software DFA</i>	60
Gambar 4.11 <i>Add Operation</i>	60
Gambar 4.12 Kebutuhan Waktu Perakitan <i>Rotor Head</i>	61
Gambar 4.13 (a) Desain Awal <i>Rotor Head</i> . (b) Desain Perbaikan	64
Gambar 4.14 (a) Desain Awal <i>Bendix Housing</i> . (b) Desain Perbaikan	65
Gambar 4.15 Kebutuhan Waktu Perakitan Desain Perbaikan	75
Gambar 4.16 <i>Liasion Diagram Rotor Head</i>	77
Gambar 4.17 <i>Assembly Chart</i> Proses Perakitan Awal <i>Rotor Head</i>	80
Gambar 4.18 <i>Assembly Chart</i> Perakitan Desain Perbaikan	89
Gambar 4.19 <i>Fixture</i> Untuk Perakitan <i>Rotor Head</i>	96
Gambar 4.20 Kebutuhan Waktu Perakitan Desain Perbaikan	97
Gambar 5.1 Perbandingan Waktu Perakitan Desain Awal dan Desain Perbaikan	102
Gambar 5.2 (a) <i>Layout Kerja</i> Awal. (b) <i>Layout Kerja</i> Perbaikan	103
Gambar 5.3 Perbandingan Jumlah Komponen Penyusun <i>Rotor Head</i>	105
Gambar 5.4 Perbandingan Waktu Perakitan Komponen Penyusun <i>Rotor Head</i>	106
Gambar 5.5 Perbandingan Nilai <i>Assembly Efficiency</i>	107
Gambar 5.6 <i>Labor Cost</i> Perakitan <i>Rotor Head</i>	108
Gambar 5.7 <i>Tools and Fixture Cost</i> Perakitan <i>Rotor Head</i>	108
Gambar 5.8 <i>Total Cost</i> Perakitan <i>Rotor Head</i>	108

BAB 1

PENDAHULUAN

Dalam Bab Pendahuluan ini berisi latar belakang dilakukannya penelitian, perumusan masalah yang terjadi, tujuan dari penelitian ini, ruang lingkup penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penelitian.

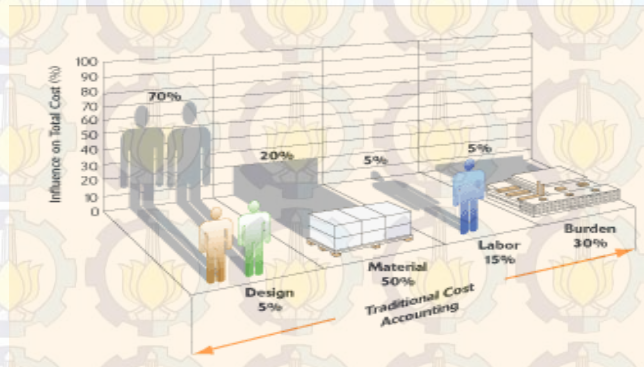
1.1 Latar Belakang

Perkembangan bidang transportasi di Indonesia semakin pesat. Termasuk dalam kemampuannya memproduksi alat transportasi udara yang dapat dimiliki secara pribadi, bernama *Gyroplane*. *Gyroplane* tersebut diproduksi oleh PT. Bayu Aircraft Indonesia yang hampir dua tahun berdiri. Sebagai perusahaan yang tergolong baru dengan produk yang dihasilkan termasuk baru pula di Indonesia, PT. Bayu Aircraft Indonesia memiliki tujuan untuk menjadi perusahaan yang *leading* di Indonesia dalam memproduksi *Gyroplane*. Untuk bisa menjadi perusahaan yang *leading* nantinya, maka penting bagi PT. Bayu Aircraft untuk terus melakukan pengembangan produk. Dalam pengembangan produk tersebut, aspek yang sangat penting dan menentukan kualitas produk yang dihasilkan adalah tahapan desain. Ketidaktepatan desain akan mengakibatkan perusahaan mengalami kerugian, baik dari segi biaya, waktumaupun kualitas.

Oleh karena itu, *Gyroplane* menjadi salah satu produk yang membutuhkan konsep matang dalam perancangan desainnya agar proses produksi dan perakitan menjadi efisien. Secara umum *gyroplane* merupakan satu jenis pesawat yang menggunakan baling-baling untuk terbang. Untuk menerbangkannya, menggunakan dua baling-baling utama, yakni baling-baling atas yang gerakannya dipengaruhi oleh kecepatan angin, dan baling-baling lainnya digerakkan oleh mesin untuk memberikan gayadorong. *Gyroplane* sendiri secara fisik lebih menyerupai helikopter namun memiliki prinsip terbang seperti pesawat.

Dalam kurun waktu tiga tahun ke depan, PT. Bayu Aircraft Indonesia akan memproduksi *gyroplane* tidak hanya berdasarkan pesanan (*Make To Order*) tetapi

juga memproduksi berdasarkan pada jumlah stok yang ditentukan (*Make To Stock*). Untuk itu, produksi yang efektif dan efisien sangat diharuskan mengingat proyek pembuatan *gyroplane* memerlukan biaya yang besar, waktu yang panjang juga sisi akurasi dimensi yang tinggi. Selama ini, perusahaan memproduksi *gyroplane* secara fisik mengadopsi dari *gyroplane* buatan luar negeri. Sedangkan, untuk menjadi perusahaan yang dapat *leading* di pasar nantinya, perusahaan harus mampu memberikan kontribusinya terhadap desain komponen yang digunakan. Kontribusi tersebutlah nantinya yang akan menjadi *competitive advantage* bagi perusahaan dalam menghadapi kompetisi. Dengan melakukan perbaikan desain, maka perusahaan dapat meminimalkan pula waktu dan biaya produksi dengan kualitas hasil produksinya yang tetap tinggi.



Gambar 1.1 Pengaruh Tiap Bagian Pengembangan Produk pada Biaya Produksi
(Munro and Associates, Inc)

Berdasarkan pada Gambar 1.1, pendekatan CE melihat seberapa berpengaruh tiap bagian produksi terhadap biaya produksi keseluruhan. Terdapat empat bagian yang berpengaruh, diantaranya desain, material, tenaga kerja, dan pengeluaran tambahan. Dari empat bagian tersebut, didapatkan bahwa bagian desain memiliki pengaruh paling tinggi, yakni mencapai 70% hingga 95% biaya produksi, walaupun biaya yang dihabiskan pada bagian itu hanya sebesar 5% dari tiga bagian lainnya. Berikut merupakan ilustrasi pengaruh tiap bagian produksi terhadap biaya keseluruhan produksi.

Dengan kapasitas produksi yang diproyeksikan semakin meningkat nantinya, kesalahan dalam tahap desain tersebut sebaiknya dihindari. Dengan produk *Gyroplane* yang memiliki banyak komponen sedangkan perakitan masih dilakukan secara manual, maka akan membutuhkan waktu yang lama dalam proses produksinya. Akibatnya, jika *demand* lebih tinggi dari kapasitas produksi perusahaan, maka akan banyak potensi profit yang akan hilang. Oleh karena itu, waktu untuk proses produksi dan perakitan harus ditekan. Kemudahan dalam proses produksi dan perakitan tersebut dipengaruhi oleh tahap desain awal produk.

Salah satu teknik spesifik yang dimiliki oleh pendekatan CE adalah *Design for Manufacturing and Assembly* (DFMA). DFMA merupakan proses desain produk yang dilakukan secara serempak oleh seluruh proses yang berkaitan sehingga dapat lebih mudah mempertimbangkan aspek manufaktur hingga perakitannya. Menurut banyak perusahaan yang telah menerapkannya, DFMA merupakan teknik yang sangat baik untuk menekan biaya total produksi (Bolton, 2007). Dalam mengaplikasikan teknik DFMA, faktor-faktor kritis yang perlu diperhatikan adalah bagaimana membuat desain yang mudah dimanufaktur dan dirakit yang memungkinkan terjadi pengurangan jumlah komponen, waktu perakitan dan penentuan manufaktur bahkan saat pembuatan desain. Pengaplikasian DFMA ini dipermudah dengan menggunakan *software*, salah satunya *software* yang dikembangkan oleh Boothroyd and Dewhurst Inc.

Sudah ada beberapa perusahaan yang menggunakan DFM/DFA, salah satunya adalah General Motors (GM). Diakui oleh perusahaan tersebut bahwa DFM/DFA menjadi pengendali utama dari perbaikan kualitas maupun minimasi biaya. DFM/DFA menjadi bagian penting dari pelatihan rekayasa dan manufaktur untuk karyawan, menyediakan pengetahuan dan kemampuan individual dan organisasi, menyediakan perbaikan teknik untuk produk dan proses, dan DFA sudah menjadi kebutuhan bagi perusahaan (Boothroyd et al., 2002). Salah satu bagian yang dilakukan *improvement* menggunakan prinsip DFMA adalah Chevrolet *headlamps and panel assembly*, hasilnya dapat mereduksi part hingga 86%, mengurangi jumlah operasi

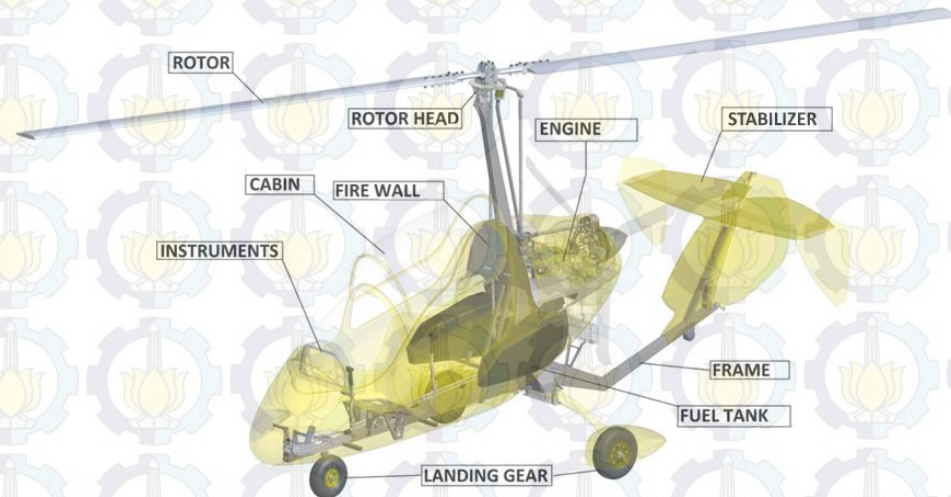
hingga 86% dan waktu perakitan hingga 71% lebih cepat dibandingkan dengan sebelum menggunakan DFA.

Selain GM, beberapa perusahaan lain yang sudah menerapkan adalah perusahaan Texas Instrument yang melakukan perbaikan pada desain thermal gunsight. Brown & Sharpe yang melakukan perbaikan pada MicroVal personal CMM, Digital Equipment Corporation yang mendesain ulang *computer mouse*, Motorola pada desain *vehicular adaptor*, Ford Motor Company pada desain *Transmission and Chassis* (T&C), dan masih banyak lagi. Dari berbagai perusahaan yang menerapkan DFA, berikut rekap data perbaikan desain dengan mengaplikasikan prinsip DFA. Rekap data ini berdasarkan 43 kasus perbaikan desain produk yang telah dipublikasikan.

Tabel 1.1 Rekap Data Perbaikan dari Penerapan DFM/DFA
(Sumber: (Boothroyd et al., 2002))

KATEGORI	Jumlah Kasus	Rata-rata Reduksi (%)
Separate fasteners	12	72,4
Assembly operations	10	49,5
Assembly time	31	61,2
Assembly cost	18	41,1
Material cost	2	48,5
Product cost	12	37,0
Product development/time to customer	4	47,5
Manufacturing cycle time	6	57,3
Work in progress	1	31,0
Manufacturing-process steps	1	55,0
Number of supplier	2	47,0
Adjustments	2	94,0
Assembly defects	3	68,0
Service calls	2	56,5
Failure rate	2	65,0
Fixture/assembly tools	4	71,0

Dari Tabel 1.1 terlihat bahwa terjadi perubahan antara sebelum dan sesudah menerapkan DFM/DFA. Untuk nilai rata-rata reduksinya sendiri cukup fantastis. Seperti pada kategori *adjustments*, *separate fasteners* dan *fixture/assembly tools*. Melihat data tersebut, penerapan DFM/DFA akan sangat bermanfaat jika diterapkan dalam pembuatan *gyroplane*.



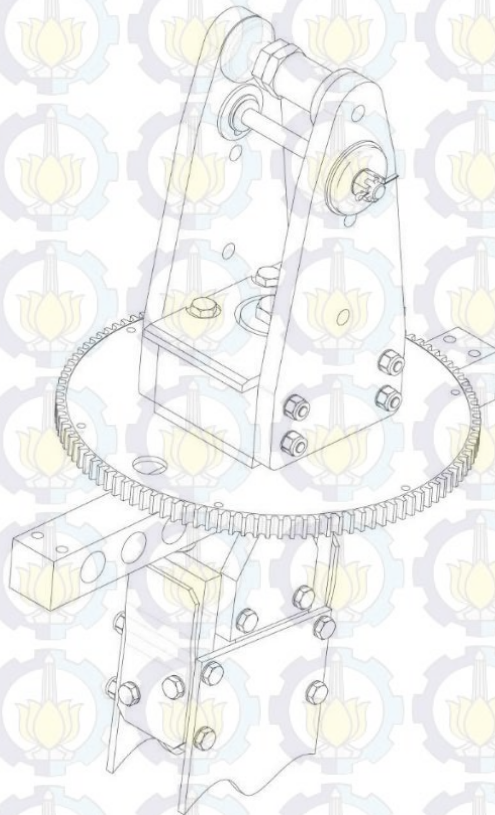
Gambar 1.2 Desain *Gyroplane*

Gambar 1.2 merupakan bentuk rancangan fisik *gyroplane*. Di Indonesia, *Gyroplane* memang masih belum cukup dikenal karena tidak ada pihak dalam negeri yang memproduksi. Oleh karena itu, PT Bayu Aircraft Indonesia menginisiasi produksi *Gyroplane* dalam negeri. Banyaknya komponen pada *Gyroplane* serta tingkat kerumitan produksi dan perakitan yang ada membuat CE sangat tepat jika diterapkan dalam perusahaan ini. Dan dengan menggunakan *software* DFA diharapkan dapat memberikan nilai tambah dan solusi terbaik untuk meningkatkan efisiensi dalam produksi produk ini.

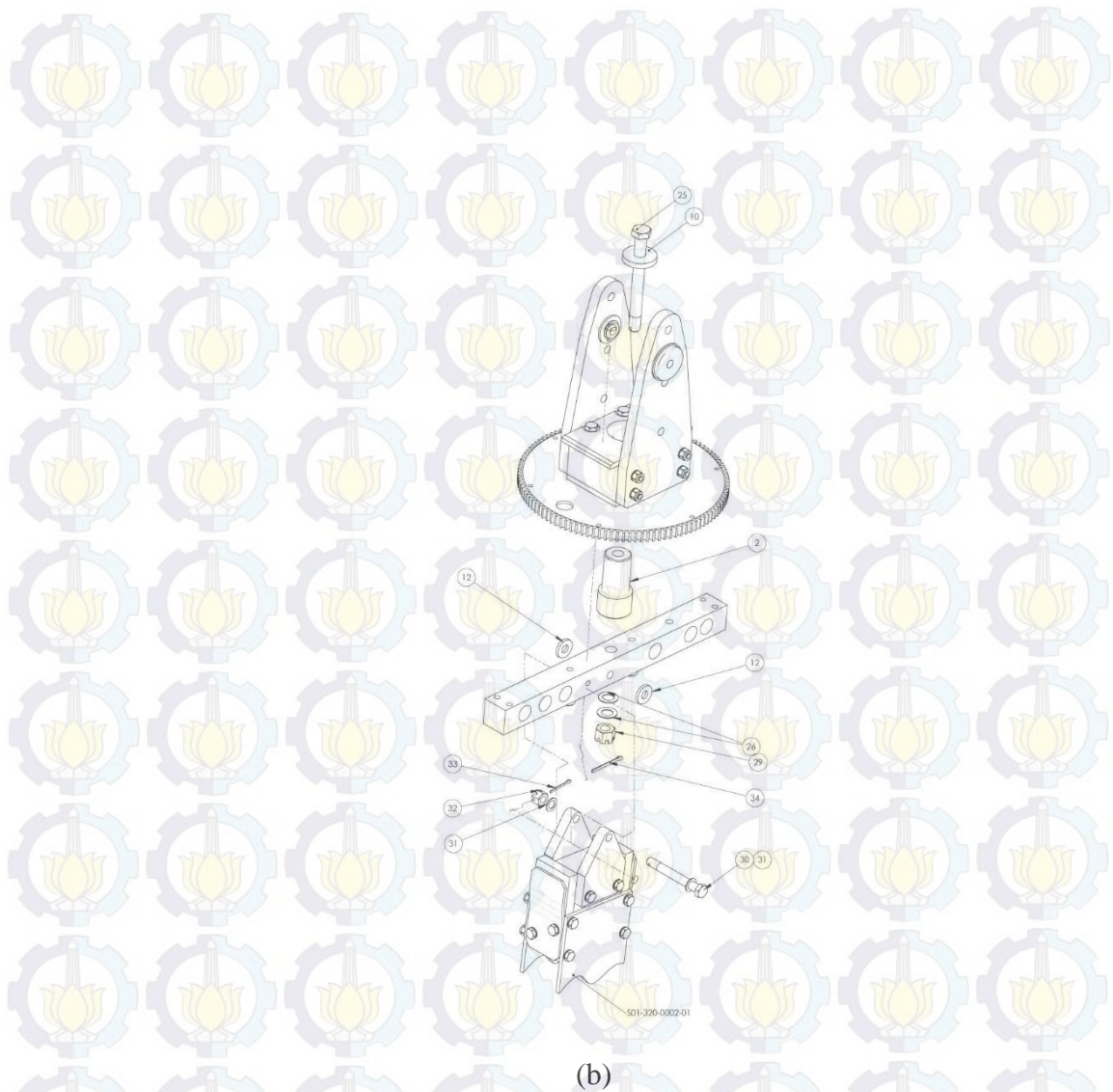
Berdasarkan informasi yang didapat saat melakukan wawancara secara langsung dengan Kepala Operasional, salah satu masalah yang sering terjadi adalah pada bagian *main rotor*. *Main rotor* ini terdiri dari dua bilah baling-baling yang dihubungkan dengan *Rotor Head*.

Main Rotor memiliki ukuran dengan tingkat akurasi yang tinggi sehingga *rotor head* yang menghubungkannya harus bisa menghubungkan dua bilah baling-

baling tersebut secara presisi dan tetap terjaga kelengkungannya. Sehingga pengerjaan bagian *rotor head* juga harus presisi. Untuk proses manufakturnya, *rotor head* dikerjakan menggunakan mesin CNC, sedangkan untuk perakitannya secara manual. Selama ini, perusahaan memilih produksi *rotor head* sendiri karena ingin fokus ke nilai manfaat. Sedangkan, jika dibandingkan dengan melakukan subkontrak, biaya yang ditanggung untuk memproduksi sendiri lebih mahal. Termasuk dalam investasi mesin CNC dengan kapasitas produksi saat ini yang belum cukup tinggi. Oleh karena itu, perlu adanya perubahan desain dengan menggunakan pendekatan DFA untuk mengoptimalkan produksi *rotor head* dari segi waktu, biaya maupun kualitas yang dihasilkan. Serta tanpa mengabaikan manfaat yang didapat dengan melakukan produksi sendiri.



(a)



Gambar 1.3 (a) Desain *Rotor Head*. (b) *Rotor Head Disassembly*

Gambar 1.3 (a) di atas merupakan desain *rotor head* yang akan diproduksi. Sedangkan Gambar 1.3 (b) merupakan komponen-komponen *rotor head* yang akan dirakit secara manual menjadi *rotor head* utuh. Mengingat banyaknya jumlah komponen penyusun dan perakitannya dilakukan secara manual, perlu dilakukan evaluasi produksi *rotor head* dengan menggunakan pendekatan DFA, dengan mempertimbangkan bentuk, jumlah komponen, serta efisiensi proses efisiensi.

1.2 Rumusan Permasalahan

Permasalahan yang akan diselesaikan pada penelitian ini adalah bagaimana memperbaiki desain *Rotor Head* dalam produksi *Gyroplane* menggunakan pendekatan DFA dengan menganalisis desain awal.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari pengerjaan penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa desain awal *rotor head gyroplane* yang digunakan (indeks *assembly efficiency*).
2. Memformulasikan perbaikan desain *rotor head gyroplane*.
3. Menganalisa desain perbaikan *rotor head* terhadap beberapa aspek, diantaranya biaya perakitan, biaya tenaga kerja dan biaya total produksi.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin didapat dari pengerjaan penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat menjadi dasar perhitungan bagi perusahaan, untuk efisiensi penggunaan desain *rotor head* terhadap indeks *assembly efficiency*.
2. Perusahaan dapat menganalisa desain *rotor head* terhadap efisiensi waktu dan biaya perakitan, biaya tenaga kerja dan biaya total perakitan.
3. Dapat menjadi dasar pertimbangan dalam perencanaan dan pengembangan produk bagi perusahaan dengan menggunakan sudut pandang perakitan.
4. Dapat diaplikasikan oleh perusahaan untuk melakukan pengembangan produk pada komponen lain.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Untuk memudahkan fokus dalam penelitian dan menyederhanakan permasalahan agar dapat diselesaikan dengan menggunakan metode ilmiah, perlulah dibuat ruang lingkup yang membatasi dan memusatkan penelitian pada bidang yang

inginkan. Adapun ruang lingkup penelitian terdiri dari batasan dan asumsi berikut ini.

1.5.1 Batasan

Batasan yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Perbaikan desain dilakukan pada bagian *rotor head*.

1.5.2 Asumsi

Asumsi yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Tidak terdapat perubahan regulasi dan kebijakan selama penelitian.
2. Waktu perakitan yang digunakan adalah waktu standar berdasarkan metode Boothroyd dan Dewhurst.
3. Peralatan yang berkaitan dengan fabrikasi desain perbaikan terdapat di perusahaan.

1.6 Sistematika Penulisan

Langkah-langkah sistematis yang dipergunakan dalam pembuatan laporan penelitian Tugas Akhir adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Dalam Bab 1 ini akan dibahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan dan asumsi, serta sistematika penulisan laporan penelitian Tugas Akhir.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab 2 berisi penjelasan mengenai literatur pustaka yang menjadi dasar dan acuan dalam penelitian Tugas Akhir untuk memperkuat pemahaman.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab 3 akan menjelaskan mengenai tahap-tahap dalam penelitian Tugas Akhir. Tahapan tersebut berupa kerangka berpikir sistematis penulis sehingga dapat mencapai tujuan penelitian.

BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab 4 berisi penjelasan mengenai data-data yang dikumpulkan selama dilakukannya penelitian, kemudian dilakukan pengolahan data terhadap data yang diperoleh.

BAB 5 ANALISA DAN INTERPRETASI DATA

Dalam Bab 5 akan dijelaskan mengenai analisa data yang telah didapatkan serta analisa dari hasil pengolahan data yang telah dilakukan.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab 6 berisi kesimpulan dari analisa yang telah dilakukan, di mana kesimpulan tersebut dapat dijadikan referensi bagi perusahaan. Selain itu juga berisi saran-saran yang berkaitan dengan permasalahan yang diamati.

DAFTAR PUSTAKA

Bagian ini berisi sumber-sumber referensi yang dipergunakan dalam penulisan penelitian Tugas Akhir ini.

LAMPIRAN

Bagian ini berisi data-data, informasi, dokumentasi dan segala hal yang berkaitan dengan penelitian Tugas Akhir ini.

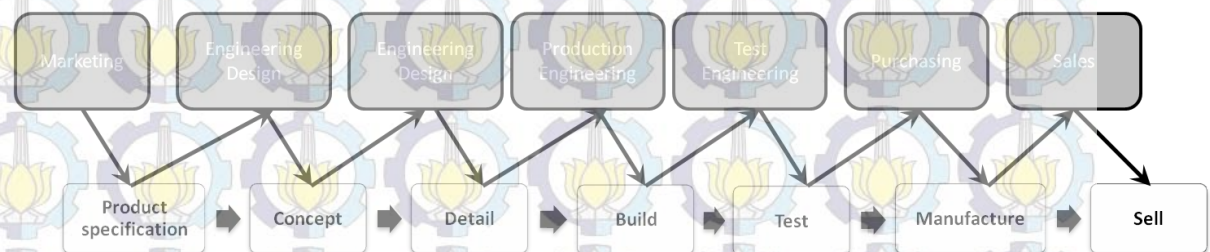
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam Bab Tinjauan Pustaka ini akan diuraikan dasar teori, serta bahan penelitian lain yang akan mendukung dan menjadi landasan untuk melaksanakan kegiatan penelitian tugas akhir ini. Antara lain penjelasan mengenai *Concurrent Engineering* dan *Design for Manufacturing and Assembly* (DFMA).

2.1 Definisi Concurrent Engineering (CE)

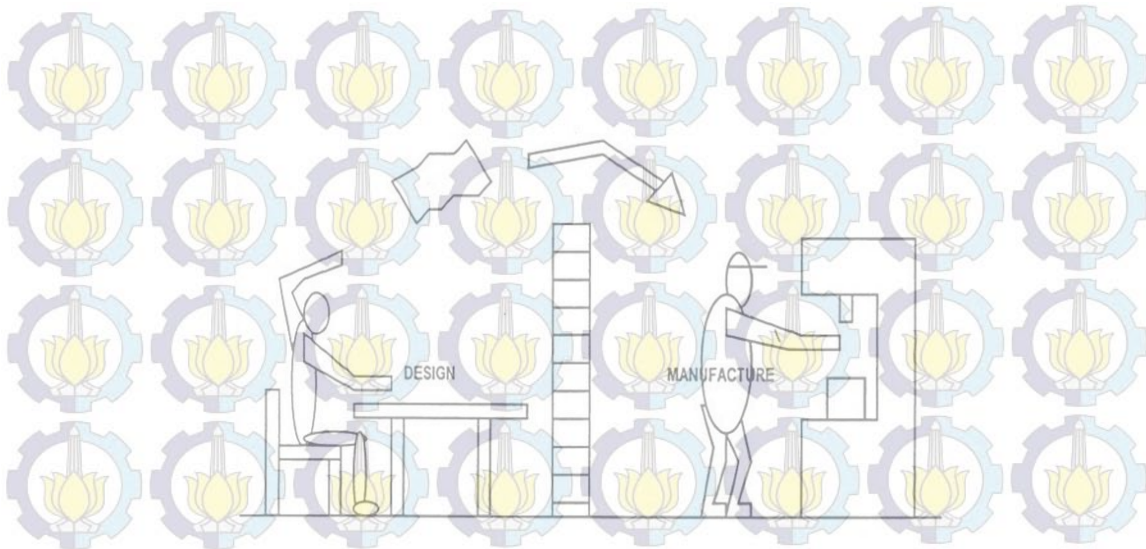
Secara konvensional, proses pengembangan produk dilakukan secara seri seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1 Filosofi Pengembangan Produk Secara Seri (Garza et al, 2009)

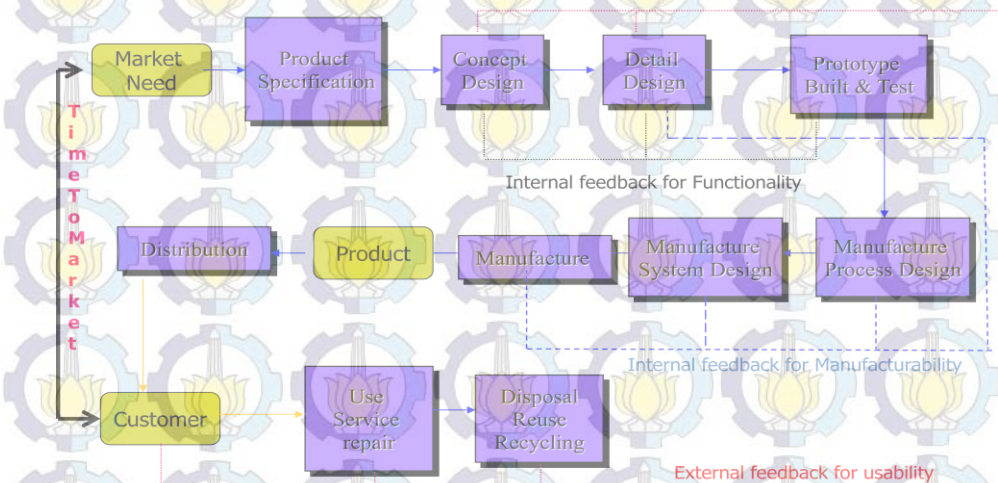
Pada Gambar 2.1, tiap tahap pada proses pengembangan produk menuju proses selanjutnya jika tahap sebelumnya sudah selesai dilakukan. Proses seperti itu, dikenal dengan sifat *orderly steps*, yakni mentransfer tanggung jawab dari satu bagian ke bagian lain dengan sedikit koordinasi (Brown and Karagozolu, 1993).

Suatu proses perancangan produk tersebut sangat erat kaitannya dengan proses manufaktur dan perakitan yang akan dilakukan. Dengan menerapkan filosofi pengembangan produk secara seri, seorang perancang memiliki prinsip "*we design it, you build it*". Sikap tersebut akan menciptakan kondisi "*over-the-wall approach*" di mana pengembangan produk terjadi secara seri seperti terhalang dinding dari tahap sebelumnya tanpa terlebih dahulu ada komunikasi dengan tahap selanjutnya.



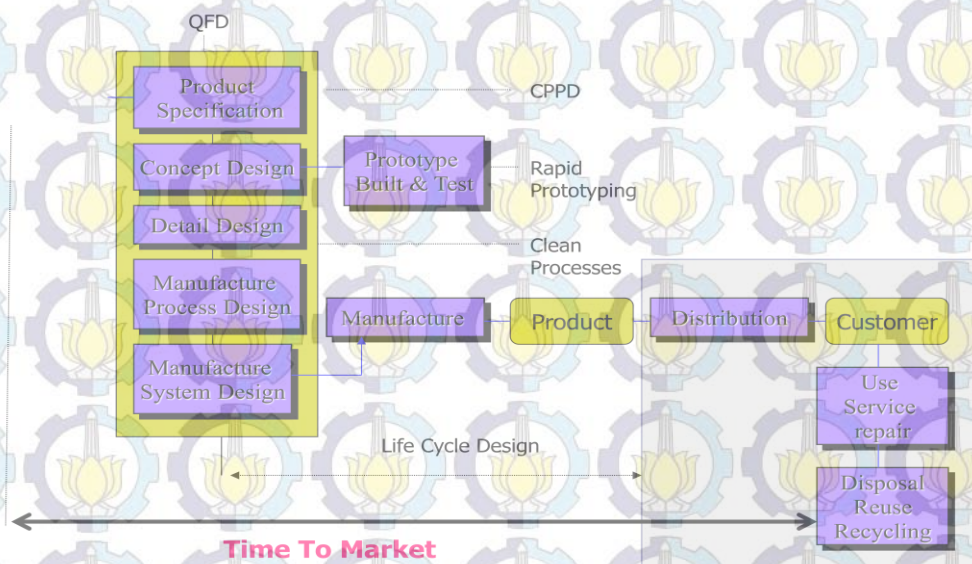
Gambar 2.2 Kondisi *Over-the-wall Approach* (Munro and Associates, Inc)

Seperti kondisi “*over-the-wall approach*” yang divisualisasikan pada Gambar 2.1 menunjukkan perancang seolah duduk di belakang dinding dan melempar desain melewati dinding kepada bagian manufaktur tanpa adanya kolaborasi yang baik. Apabila dalam proses manufaktur maupun perakitan muncul permasalahan, maka akan dilakukan perbaikan desain kembali. Hal tersebut akan menyebabkan *Time To Customer* lebih panjang dan menghabiskan biaya produksi lebih banyak.



Gambar 2.3 Pengembangan Produk Secara Tradisional (Materi Kuliah *Concurrent Engineering*, 2014)

Pada Gambar 2.2, menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan selama proses pengembangan produk lebih panjang karena proses dilakukan per tahap. Berbeda jika dibandingkan Gambar 2.3 yang menunjukkan pengembangan produk dengan prinsip *concurrent engineering* lebih singkat waktu pengembangan produknya karena dilakukan secara paralel.



Gambar 2.4 Pengembangan Produk dengan Prinsip *Concurrent Engineering* (Materi Kuliah *Concurrent Engineering*, 2014)

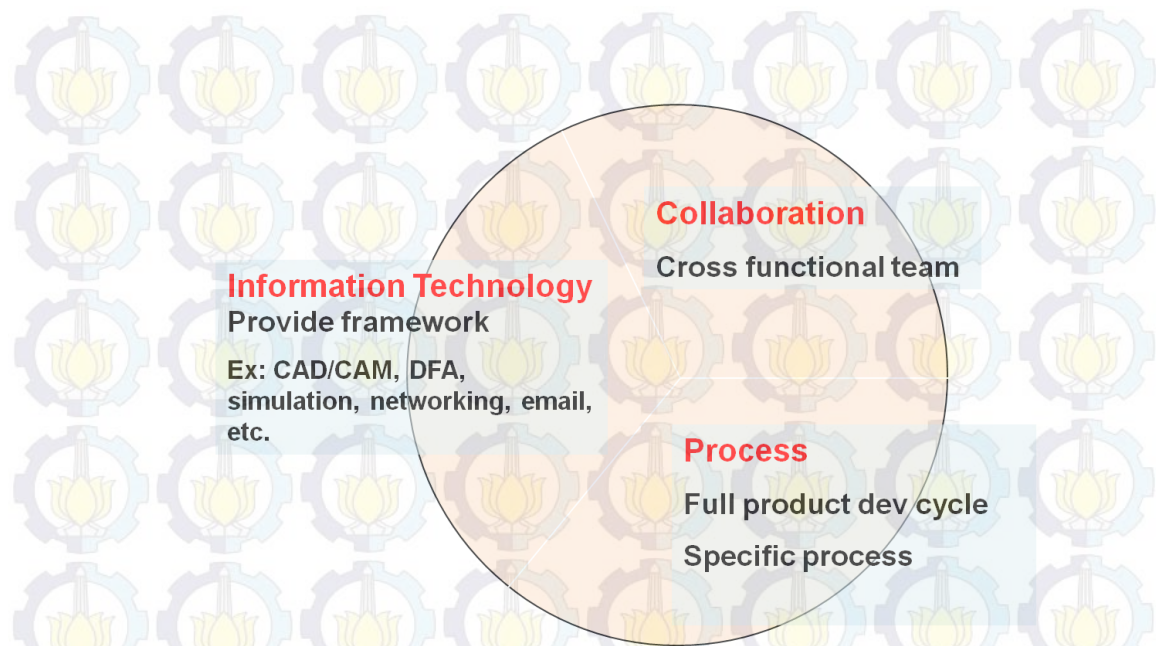
Konsep atau filosofi *Concurrent Engineering* tepat diaplikasikan untuk mengurangi risiko terjadinya “*over-the-wall approach*” yang mengakibatkan lamanya proses pengembangan produk tersebut. *Concurrent Engineering* menurut U. S. Institute of Defence merupakan pendekatan sistematis yang dilakukan secara bersamaan dan terintegrasi terhadap desain produk dan proses yang terkait. Seperti proses manufaktur, perakitan, maupun proses pendukung lainnya. Pendekatan ini digunakan oleh perusahaan agar semua pihak atau bagian yang terlibat dalam proses produksi mempertimbangkan seluruh elemen mulai dari konsep desain hingga peluncuran produk sampai di *customer*.

Xie (2003) menyatakan bahwa agar dapat menghasilkan produk yang kompetitif di pasar, dibutuhkan kecepatan dalam penyediaannya di pasar juga tingkat kehandalan yang dimiliki harus tinggi namun dengan biaya yang rendah. Biaya produksi yang ekonomis akan mempengaruhi harga jual produk sehingga menjadi lebih kompetitif di pasar. Dengan menggunakan pendekatan CE, perusahaan dapat mempertimbangkan seluruh elemen pada siklus hidup produk, mulai dari perancangan produk hingga akhir proses produksi (Winner et al., 1988). Definisi lain dari CE menurut John Izuchukwu (1992) merupakan suatu metodologi yang diterapkan untuk pekerjaan terpisah secara simultan dalam pengembangan produk baru serta untuk merancang produk serta sistem manufakturnya agar terlaksana dengan baik. Selain itu, masalah-masalah yang berpotensi dari proses fabrikasi, perakitan, *support* dan kualitas diselesaikan di awal proses desain. Filosofi CE sendiri menjawab pertanyaan “apakah itu yang terbaik?” dan “apakah itu akan sukses?” sebelum produk tersebut benar-benar diproduksi (Garza et al., 2009).

Metode CE tersebut dikembangkan karena selain untuk meningkatkan *market competitiveness* dengan mengoptimalkan *Time To Customer*, CE juga meminimalkan *cost* dengan memperhitungkan beban produksi dari hasil analisa bentuk produk, karena diyakini bahwa semakin rumit bentuk suatu produk maka akan menyebabkan semakin besarnya biaya produksi.

2.2 Element Concurrent Engineering

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5, beberapa elemen yang terdapat dalam CE diantaranya adalah teknologi informasi, proses dan kolaborasi (Salomone, 1995).



Gambar 2.5 Elemen-elemen CE (Materi Kuliah *Concurrent Engineering*, 2014)

Untuk elemen pertama adalah Kolaborasi. Kolaborasi yang dimaksud adalah hubungan antara pihak-pihak dalam struktur utama organisasi, struktur pendukung dan *skill*. Untuk struktur utama organisasi terdiri dari *Senior management support structure* dan *Cross-functional team*. Untuk struktur pendukungnya antara lain orang-orang yang terlibat dalam *Marketing trends*, *Competitive analysis*, *Product benchmarking*, *Market research processes*, *Collaborative relationship with the virtual enterprise of suppliers, resellers, key customers, technology developers, Supplier research, Process technology development, Design enabling technology development*. Sedangkan yang dimaksud dalam kolaborasi *skill* adalah kolaborasi antara *Talented and competent engineers, engineering managers and team members, Collaborative willingness and propensity, Ability to recognise one's own strength and weakness*.

Untuk teknologi dan informasi adalah penyedia cara-cara efektif dan lebih cepat untuk kolaborasi dan komunikasi menghasilkan produk baru. Teknologi dan informasi terdiri dari enam hal; *CAD/CAE tools*, alat untuk membantu *engineer* dalam membuat sebuah model dalam perkembangan produk dan membantu

menganalisisnya. *server hardware* dan *networking software*, *database software*, aplikasi simulasi dan analisis, alat untuk komunikasi, dan *environment software*.

Elemen ketiga CE adalah Proses. Proses meliputi dua hal, yakni secara keseluruhan proses dan metodologi. Untuk keseluruhan proses *structured process/concurrent development*, *structured senior management review process*, dan *concurrent development of concept, product and process*. Sedangkan untuk metodologinya terdiri dari; *Concept design methodologies*, *Market target methodologies*, *Product functional development methodologies*, *Quality Function Deployment (QFD)*, *Cost driven design (CDD)*, *Customer focused design methodologies*, *Design for Manufacture (DFM)*, *DFX*, *Engineering analysis and simulation*, dan *Design of Experiment (DoE)*.

2.3 Concurrent Engineering House

Terdapat empat hal yang menyusun *Concurrent Engineering House*, diantaranya adalah *Corporate commitment*, *Team organization/Operation skill*, *Decision tools/knowledge*, dan *Information and Technology*. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6 berikut ini.



Gambar 2.6 CE House (Materi Kuliah *Concurrent Engineering*, 2014)

Corporate commitment yang dimaksud adalah struktur organisasi dan aturan manajemen yang ada di dalam perusahaan. Untuk *team organization* meliputi

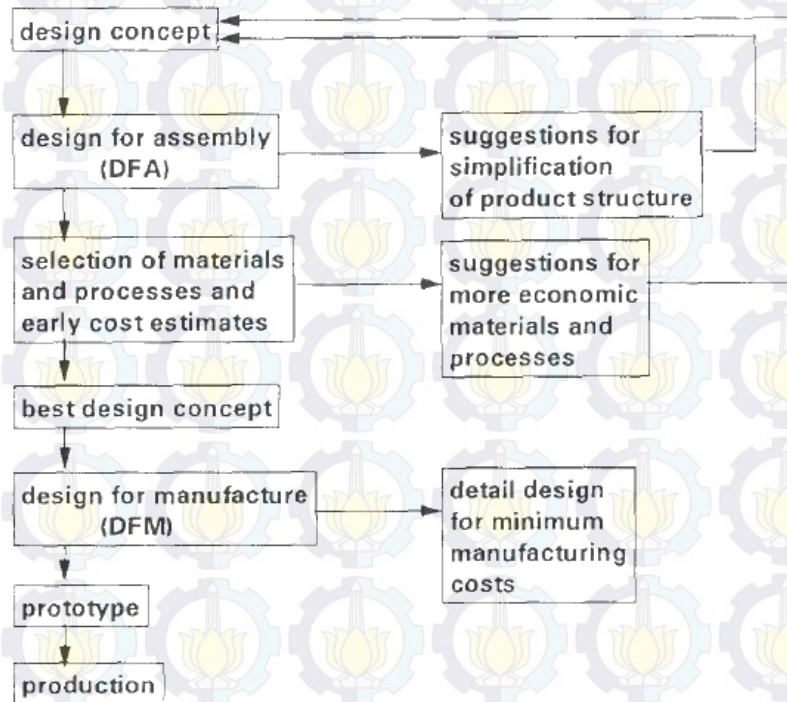
lingkungan operasional, pembagian dalam tim dan fasilitas operasional. *Decision tools* meliputi *qualitative tools* dan *quantitative tools*. Terakhir *information and technologies* sebagai pendukung aktivitas perusahaan dalam menerapkan CE, salah satunya penggunaan *software Design for Manufacturing and Assembly (DFMA)* dalam analisa efisiensi desain produk terhadap biaya dan waktu produksi.

2.4 Design for Manufacturing and Assembly (DFMA)

Design for Manufacturing and Assembly (DFMA) merupakan gabungan dari *Design for Manufacturing (DFM)* dan *Design for Assembly (DFA)*, di mana DFM merupakan kegiatan merancang untuk memudahkan proses manufaktur dari seluruh komponen yang akan dibentuk sebelum dirakit. Sedangkan DFA merupakan kegiatan merancang produk untuk memudahkan perakitan (Boothroyd et al., 2009). DFMA digunakan untuk tiga aktivitas umum:

1. Dasar studi *Concurrent Engineering* adalah untuk mengarahkan tim desain dalam menyederhanakan struktur produk, mengurangi biaya manufaktur dan perakitan, serta mengukur tingkat perbaikan.
2. Sebagai alat untuk melakukan perbandingan produk sejenis milik kompetitor dan menghitung hambatan dalam manufaktur dan perakitan.
3. Untuk alat bantu dalam melakukan negosiasi dengan *supplier*.

Adapun tahapan yang akan dilakukan pada analisa DFMA seperti yang digambarkan pada Gambar 2.7 berikut:



Gambar 2.7 Tahapan DFMA pada DFMA *Software*
(Boothroyd et al., 2002)

Gambar 2.7 menunjukkan bahwa konsep desain dianalisa menggunakan DFA sehingga akan didapatkan rekomendasi untuk penyederhanaan struktur produk, sehingga dilakukan kembali proses pembuatan konsep desain. Setelah konsep desain melalui proses DFA, maka selanjutnya adalah memilih material dan proses serta memperkirakan biaya awal. Pada tahap tersebut, dapat membuat rekomendasi untuk material yang lebih murah dan proses yang ramah lingkungan. Selanjutnya didapat konsep desain yang paling baik, kemudian dianalisa menggunakan DFM untuk menghitung detail desain untuk biaya produksi minimum untuk kemudian diproduksi.

2.5 Design for Assembly (DFA)

Subbab ini akan menjelaskan beberapa hal terkait dengan metode DFA, antara lain definisi DFA, perbandingan metode perakitan, metode Boothroyd-Dewhurst untuk evaluasi DFA serta *guidelines* DFA.

2.5.1 Definisi Design for Assembly (DFA)

Metode DFA pada dasarnya digunakan untuk menyederhanakan produk yang otomatis mengurangi beban biaya selama perakitan. Selain itu, penyederhanaan produk juga akan mempengaruhi kualitas produk, ketahanan, kebutuhan peralatan produksi, serta penyimpanan komponen (Salustri and Chan, 2005). DFA merupakan metodologi yang digunakan untuk mengevaluasi perancangan produk dengan proses perakitannya. Menurut Boothroyd&Dewhurst (2012), DFA merupakan sebuah cara yang dapat dihitung untuk mengidentifikasi komponen yang tidak diperlukan dalam sebuah perakitan sekaligus menentukan waktu dan biayanya.

2.5.2 Metode BoothroydDewhurst untuk Evaluasi DFA

Metode Boothroyddann Dewhurst merupakan salah satu metodologi DFA yang diformulasikan pada tahun 1989 oleh Boothroyd dan Dewhurst. Metode ini menggunakan dua langkah dalam prosedur pengaplikasiannya untuk tiap komponen dalam perakitan, diantaranya adalah (Stone et al., 2003):

1. Mengevaluasi setiap komponen untuk menentukan komponen mana saja yang dibutuhkan dan mencari komponen yang layak dieliminasi maupun dikombinasikan dengan komponen lain dalam perakitan.
2. Memperkirakan waktu yang dibutuhkan untuk memegang, menggerakkan dan memasukkan komponen selama proses perakitan.

Secara umum, metode ini memiliki tahapan dalam pelaksanaannya sebagai berikut (Salustri and Chan, 2005):

1. Pilih metode perakitan untuk tiap komponen
2. Analisa komponen berdasarkan metode perakitan yang telah dipilih

3. Melakukan perbaikan rancangan untuk menjawab kekurangan yang telah teridentifikasi pada analisis
4. Ulangi ke langkah kedua sampai menghasilkan analisa yang lebih baik

Analisa dengan metode ini menggunakan *worksheet* seperti pada Tabel 2.1 untuk memperkirakan waktu *handling* dan *insertion* komponen. Operasi *non-assembly* juga dipertimbangkan dalam *worksheet*, misalnya waktu tambahan yang dialokasikan untuk tiap *assembly*. Berikut ini adalah contoh tabel yang digunakan:

Tabel 2.1 Contoh *Worksheet* Boothroyd-Dewhurst DFA

a	B	c	d	e	f	g	h	i*	
Part ID	Operation numb.	2-digit handling code	Manual handling time/part	2-digit insertion code	Manual insertion time/part	Operation time (bd+f)	Operation cost	Esential part?	Part Name
					Total	Tm=	Cm=	Nm=	

Sumber: Salustri and Chan, 2005

(Diadaptasi dari Boothroyd-Dewhurst, 1989)

Pada kolom *handling* (c), terdapat dua kode yang dipilih dari *manual handling chart*. Proses *handling* ditentukan dari sistem, Proses *handling* ditentukan melalui skema klasifikasi dari cara memegang komponen, menggunakan satu tangan atau satu tangan dengan menggunakan alat bantu atau menggunakan dua tangan karena ukuran komponen yang besar. Rotasi simetri dari komponen juga diperhatikan, apakah tegak lurus (α) ataukah sejajar (β) dengan sumbu-x. Dimensi komponen seperti ukuran dan ketebalan komponen juga diperhatikan.

Kolom *handling time* (d) didapat dari *manual handling chart* yang sesuai. Dalam kolom kode *insertion* (e), terdapat dua kode yang dipilih dari *manual insertion chart*. Kolom *insertion time* (f) didapatkan dari *chart* yang sesuai. Kolom selanjutnya adalah kolom perhitungan total waktu operasi (g) yang didapatkan dari hasil kali kolom (b) dengan kolom (d).

Proses selanjutnya, komponen dievaluasi kembali apakah keberadaannya esensial atau tidak (kolom i*) dengan menjawab tiga pertanyaan di bawah ini:

1. Apakah komponen mempunyai pergerakan relative terhadap *part-part* lain yang telah dirakit sebelumnya?
2. Apakah material dari komponen tersebut harus berbeda dari material komponen lain?
3. Apakah komponen perlu dipisahkan dalam perakitan?

Jika keseluruhan jawabannya adalah “tidak”, maka komponen tersebut tidak termasuk dalam komponen esensial. Sehingga dalam kolom (i*) diisi dengan “0”. Jika ada satu jawaban “iya”, maka pada kolom (i*) diisi dengan “1”. Hasil dari tabel tersebut kemudian dihitung menggunakan rumus:

$$Em = \frac{Nm \times ta}{tma}$$

Dengan E_m merupakan efisiensi desain manual, N_m adalah jumlah minimum komponen secara teoritis, t_{ma} adalah total waktu perakitan manual dan t_a adalah nilai kondisi ideal, yakni sebesar tiga detik.

2.5.3 Guidelines DFA

Terdapat beberapa panduan dasar untuk menjalankan metode DFA. Panduan ini dapat digunakan selama perancangan konsep desain untuk memutuskan mana yang dapat diaplikasikan dan tidak serta memodifikasi konsep untuk memenuhi panduan. Akan tetapi, tidak ada yang menjamin bahwa pedoman akan berlaku untuk masalah desain tertentu. Berikut adalah pedoman yang digunakan untuk DFA (Salustri and Chan, 2005):

1. Meminimalkan jumlah komponen dengan menyatukan beberapa fungsi komponen menjadi satu komponen
2. Modularisasi beberapa komponen menjadi *sub-assembly*
3. Pembuatan desain lebih mengutamakan proses perakitan di tempat terbuka nantinya. Jangan mendesain komponen yang penting di paling bawah

4. Komponen harus mudah diorientasi ketika akan dirakit untuk *insertion*, dan komponen harus memiliki fitur *self-locking* dengan diberi tanda agar memudahkan orientasi
5. Membuat standardisasi komponen untuk mengurangi variasi dan memudahkan proses perakitan
6. Merancang komponen agar tidak menempel atau tersangkut
7. Membedakan komponen yang memiliki bentuk sama dengan cara non-geometris (kode warna)
8. Merancang komponen agar tidak terjadi *nesting*, yaitu komponen tersangkut di atas komponen lain
9. Desain komponen dengan orientasi yang mudah, sehingga mudah disambung
10. Memberikan fitur *alignment* dalam produk agar mudah diorientasikan
11. Desain komponen yang berpasangan agar mudah dimasukkan, berikan *allowance* pada setiap komponen agar memberikan kompensasi pada variasi dimensi komponen
12. Desain komponen utama agar lebih besar dari komponen penyusunnya sehingga proses perakitannya lebih stabil. Lakukan perakitan dari atas ke bawah
13. Apabila tidak dapat merancang komponen dari atas ke bawah, maka minimalkan arah dalam memasukkan perakitan
14. Menyambungkan komponen menggunakan mur, baut atau sistem *snap-fit*

2.6 Design for Manufacturing (DFM)

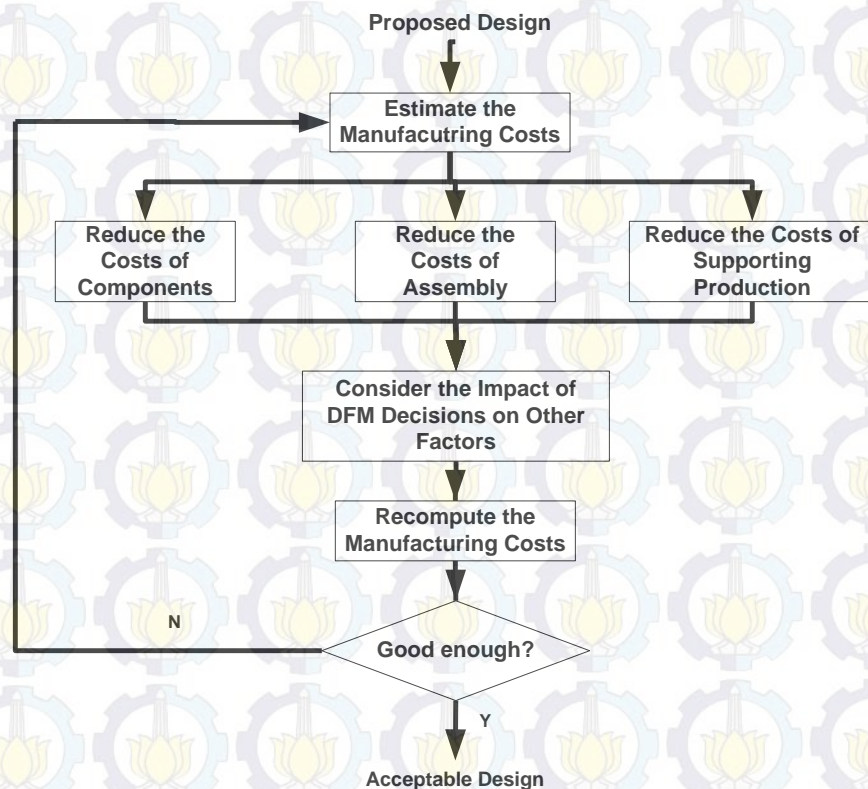
Subbab ini akan menjelaskan tentang DFM, termasuk definisi dan *guidelines* DFM.

2.6.1 Definisi Design for Manufacturing (DFM)

Design for Manufacturing merupakan pendekatan sistematis yang memungkinkan antisipasi biaya manufaktur lebih awal, yakni pada proses desain

produk. Beragam teknologi yang digunakan dalam proses produksi serta bahan-bahan yang tersedia membuat para *engineer* tidak memungkinkan untuk memiliki kemampuan secara keseluruhan, akibatnya proses yang dipilih pun proses yang sudah familiar. Metodologi DFM membuat para *engineer* mengeksplorasi proses maupun bahan tambahan yang memungkinkan untuk produksi lebih baik. Dengan informasi lebih lanjut mengenai proses dan bahan tambahan yang layak, *engineer* mampu menghitung biaya produksi untuk membuat alternative desain perbaikan yang mampu bersaing dan memutuskan desain mana yang terbaik.

Untuk melaksanakannya, DFM memberikan panduan dalam pemilihan material dan proses serta menghasilkan komponen dan perkiraan biaya peralatan. DFM juga merupakan bagian penting dalam proses DFMA, karena DFM menyediakan informasi tentang manufaktur ke dalam analisis pengurangan biaya pada DFA (Boothroyd Dewhurst, 2012).



Gambar 2.8 Urutan Metode DFM (Materi Kuliah *Concurrent Engineering*, 2014)

2.6.2 Guidelines DFM

DFM memiliki panduan atau prinsip yang menjadi acuan untuk membantu *engineer* mereduksi biaya dan kesulitan dalam memproduksi suatu produk. Di bawah ini adalah daftar peraturan dalam menjalankan DFM (Tien-Chang et al., 1998):

1. Mengurangi jumlah *part*
2. Mengembangkan desain modular
3. Menggunakan komponen yang standar
4. Mendesain *part* yang memiliki banyak fungsi
5. Mendesain *part* dengan banyak kegunaan
6. Membuat desain yang mudah untuk fabrikasi
7. Menghindari pengencang yang terpisah
8. Meminimalkan arah perakitan
9. Memaksimalkan pemenuhan
10. Meminimalkan *handling*

2.7 DFMA Software

Boothroyd dan Dewhurst mengembangkan suatu *software* yang digunakan dalam proses perancangan dan pengembangan produk. *Software* yang diluncurkan pada tahun 1982 ini memberikan kemudahan dalam menganalisa desain dan alternatif desain perbaikan produk, seperti perhitungan DFA *index*, waktu serta biaya tenaga kerja serta biaya perakitan. Dengan begitu, dapat memberikan gambaran bagi *engineer* untuk melakukan perbaikan serta estimasi biaya dari rancangan yang dibuat.

Software ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu DFA *Software* dan DFM *Software*, berikut ini merupakan penjelasan dari DFA *Software*:

2.7.1 DFA Software

Engineer mengetahui bahwa tahap awal dalam desain memiliki pengaruh hingga 85% dari biaya produksi (Boothroyd Dewhurst, 2012). Oleh karena itu, sangat penting untuk memperhitungkan biaya produksi dalam tahap awal

tersebut. Keuntungan lain yang diperoleh dengan menggunakan *software* DFA adalah sebagai berikut:

1. Memperkirakan kesulitan perakitan

Software ini dapat memperkirakan tingkat kesulitan dalam proses perakitan, mulai dari bagaimana cara komponen itu dipegang, bagaimana orientasinya serta bagaimana pemindahan untuk memasukkan dan pengencangan ke produk.

2. Mendukung pembuatan keputusan

Software ini memberikan tujuan serta informasi yang membantu *engineer* maupun tim pengembangan produk memeriksa semua desain yang berpotensi dengan memilih pendekatan paling efektif.

3. Membandingkan dengan produk yang telah ada

DFA indeks merupakan pengukuran dari efisiensi perakitan yang menjadi dasar untuk memperhitungkan perbandingan alternative desain perbaikan secara internal atau dengan produk competitor. *Software* ini menghasilkan pengukuran sasaran yang tidak bergantung dari ukuran dan kompleksitas produk.

4. Menambah fokus untuk *review* desain

Analisa DFA mampu mengarahkan perkembangan desain dan membuktikan perbaikan sejalan dengan perkembangannya. Dengan mengeliminasi komponen atau operasi yang berlebihan serta menghilangkan kesulitan dalam perakitan, nilai efisiensi perakitan secara otomatis akan meningkat.

5. Menajamkan kemampuan desain

Software DFA membantu *engineer* maupun tim pengembangan produk untuk menciptakan nilai minimum komponen suatu produk secara teoritis. Dalam proses pengembangannya, *engineer* mengidentifikasi konsep desain yang mampu mengurangi kompleksitas serta biaya yang sebenarnya tidak diperlukan.

6. Mengintegrasikan desain dan produksi

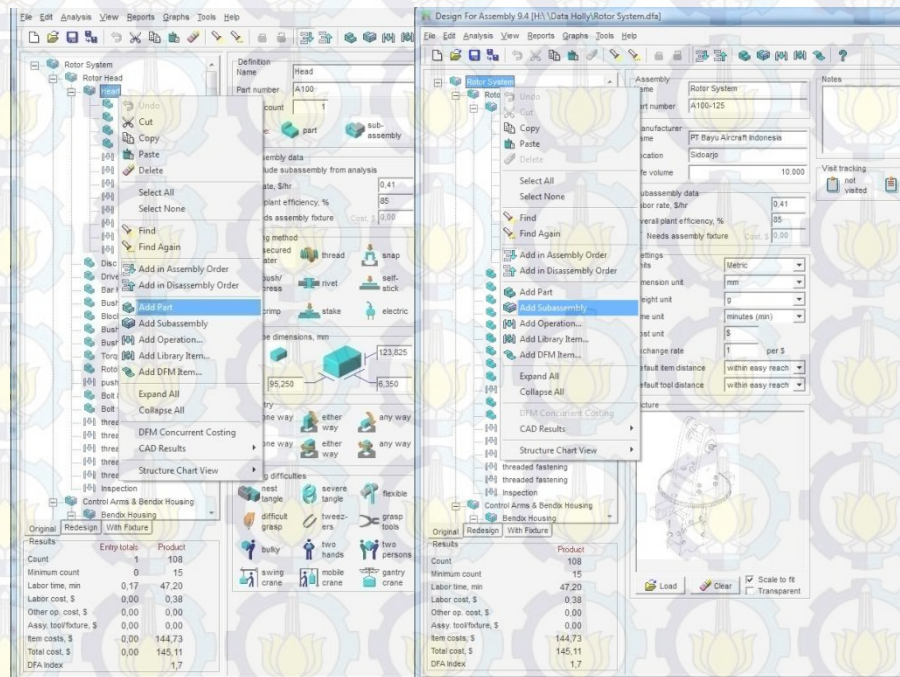
Pendekatan DFA memberikan pertimbangan struktur keseluruhan untuk membuat perancangan desain pada material dan biaya manufaktur yang lebih sesuai. DFA dan DFM yang digunakan bersama memungkinkan *engineer* untuk memilih bentuk serta proses pembentukan yang tepat dan biaya yang hemat untuk komponen.

Software ini membutuhkan beberapa data dalam pengolahannya antara lain *Definition* yang terdiri dari *name*, *part number*, *repeat count* dan *item type* apakah merupakan *part* atau *sub-assembly*. Selanjutnya ada *Securing Method* yang terdiri dari pilihan *secured later*, *thread snap*, *push/press*, *rivet*, *self-stick*, *crimp*, *stake* dan *electric*. Kemudian *Minimum Part Criteria*, apakah perlu dipisahkan atau menjadi kandidat yang akan dieleminasi. Data lain yang perlu diisi lagi adalah Dimensi Komponen, Simetri, *Handling Difficulties*, *Insertion Difficulties*, *Labor Time* dan *Manufacturing Data* seperti *piece per part*, *item cost per item*, *tooling investment*, *weight per item*, material serta prosesnya.

Untuk langkah-langkah pengoperasian DFA *Software* adalah sebagai berikut:

1. Buka DFA *Software*
2. Add Part dan Add Subassembly

Tampilan yang akan muncul adalah seperti gambar di bawah. Lakukan pembuatan *form part* untuk *rotor head* dan *form subassembly* untuk komponen penyusunnya. Caranya, klik kanan pada *structure chart* kemudian pilih *add part* untuk pengisian *part* dan *add subassembly* jika terdapat *subassembly*.

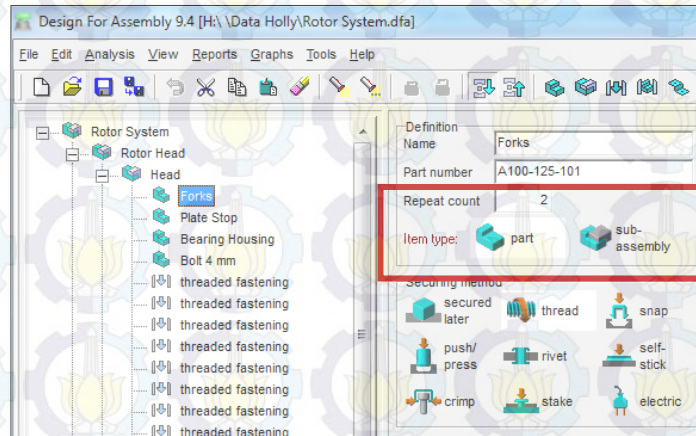


Gambar 2.9 Add Part dan Add Subassembly

3. Memasukkan seluruh data komponen penyusun *Rotor Head*

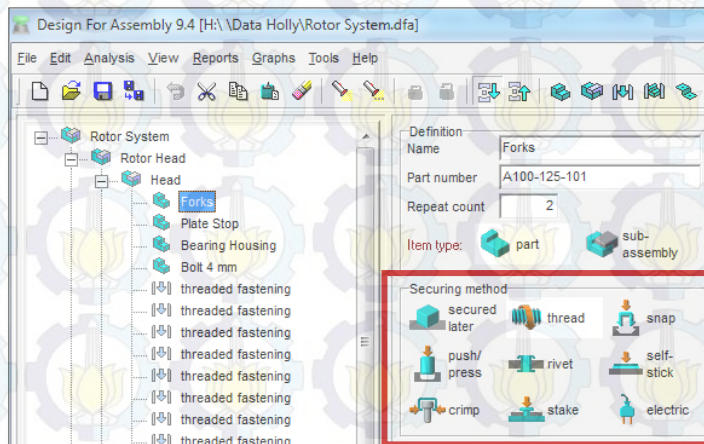
Data yang diinputkan antara lain *definition*, *securing method*, *minimum part criteria*, *envelope dimensions*, *alpha and beta symmetry*, *handling and insertion difficulties*, *labor time* dan *manufacturing data*.

- *Definition* mencakup data *namapart*, *part number*, jumlah yang dibutuhkan, dan tipe komponen tersebut, apakah berupa komponen ataupun *subassembly*.



Gambar 2.10 Tampilan *Item Type* Pada Software DFA

- *Securing method* merupakan data mengenai operasi yang dilakukan pada suatu komponen.

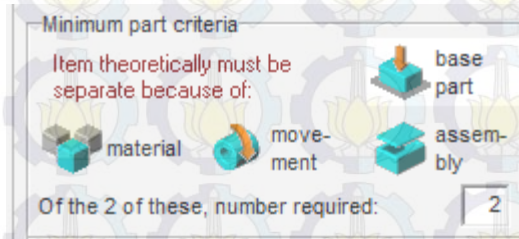


Gambar 2.11 Tampilan *Securing Method* Pada Software DFA

- *Minimum Part Criteria* melibatkan data yang akan mendukung apakah komponen tersebut termasuk dalam kandidat yang dapat dieliminasi atau tidak dengan menggunakan tiga pertanyaan dasar dalam DFA, yakni sebagai berikut:
 - 1) Apakah komponen tersebut memiliki pergerakan relative terhadap *part* lain yang telah dirakit sebelumnya?

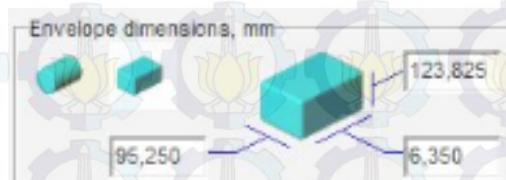
- 2) Apakah material komponen tersebut harus berbeda dari material komponen lain?
- 3) Apakah komponen tersebut perlu dipisahkan dalam perakitan?

Apabila dari ketiga pertanyaan tersebut satu saja terjawab “ya”, maka komponen tersebut tidak dapat dieliminasi.



Gambar 2.12 Tampilan *Minimum Part Criteria* Pada Software DFA

- *Envelope Dimension* merupakan data mengenai ukuran produk, yakni panjang, lebar dan tinggi. Berikut merupakan data dimensi *part* penyusun *rotor head*.



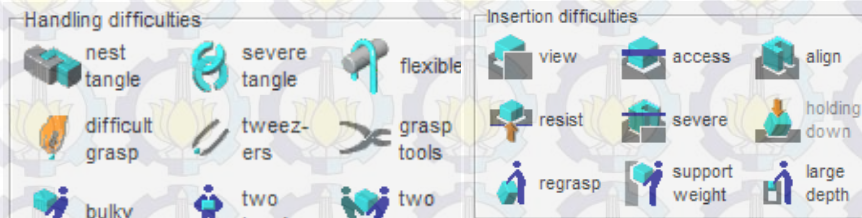
Gambar 2.13 Tampilan *Envelope Dimensions* Pada Software DFA

- *Symmetry* merupakan data mengenai arah rotasi dilakukannya perakitan. Jika arah rotasi perakitan komponen 90° dari poros penyisipannya, maka disebut *Alpha symmetry*. Sedangkan jika arah rotasinya sejajar dengan porosnya disebut *Beta symmetry*.



Gambar 2.14 Tampilan *Symmetry* Pada *Software DFA*

- *Handling difficulties* merupakan data tingkat kesulitan dalam memegang komponen pada saat perakitan. Sedangkan *Insertion difficulties* merupakan kesulitan dalam penyisipan komponen saat perakitan.



Gambar 2.15 Tampilan *Handling Difficulties* dan *Insertion Difficulties* Pada *Software DFA*

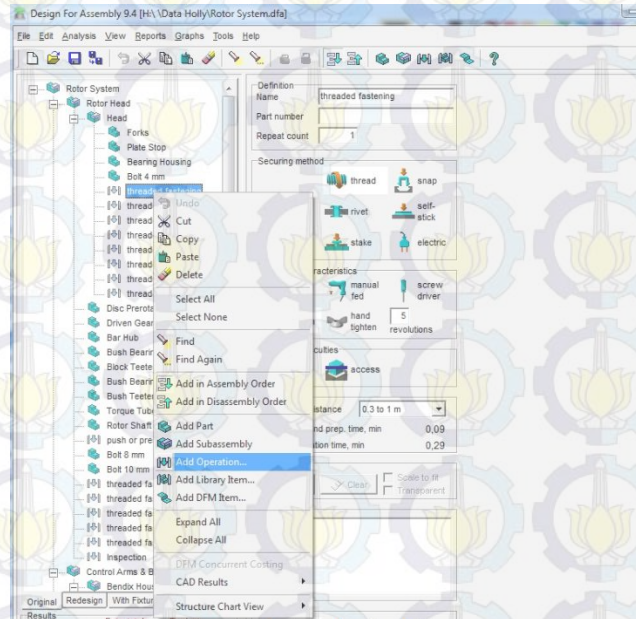
- *Manufacturing data* adalah data mengenai *piece part cost*, *item cost per item* dan *tooling investment*.

Manufacturing data		
	Item	Product
Piece part cost, \$	0,81	44,73
Item cost per item, \$	9,81	144,73
Tooling investment, \$	9	74
Weight per item, g	806,00	16274,00
Material	SAE 4130	
Process	Milling	

Gambar 2.16 Tampilan *Manufacturing Data* Pada *Software DFA*

4. Add Operation

Setelah memasukkan data keseluruhan komponen penyusun produk, langkah selanjutnya adalah menambahkan operasi pada komponen tersebut. Dalam perakitan *rotor head* ini terdapat dua operasi yakni, operasi *threaded fastening* dan *inspection* seperti ditunjukkan pada Gambar ini.



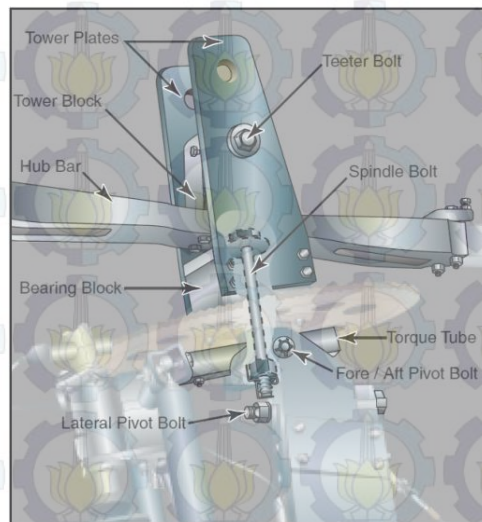
Gambar 2.17 Add Operation

Input data komponen penyusun *rotor head* ini dilakukan sesuai urutan proses perakitan dari awal hingga akhir.

2.8 Rancang Bangun Rotor Head Gyroplane

Sistem rotor memiliki kemampuan untuk *autorotation* sehingga dapat digunakan dalam *gyroplane*. Sistem yang paling banyak digunakan adalah semirigid atau *teeter-head system*. Sistem ini ditemukan di sebagian besar pembuatangyroplane amatir. Dalam sistem ini, kepala rotor dipasang pada poros, yang kemudian dapat dimiringkan untuk fungsi kontrol. Baling-baling terpasang pada hub bar yang mungkin atau tidak memiliki penyesuaian untuk berbagai ukuran ketajamannya. *Aconing* sudut, ditentukan oleh proyeksi berat *blade*, kecepatan rotor, dan beban yang akan dibawa. Ini meminimalkan momen hub bar dan menghilangkan kebutuhan

untuk *engsel coning*, yang digunakan dalam sistem rotor yang lebih kompleks. Sebuah *tower block* menyediakan *undersling* dan *attachment* ke rotor head dengan menggunakan *teeter bolt*. Rotor head terdiri atas bantalan blok yang terhubung menjulang dan di mana *tower plates* terpasang. *Spindle* (umumnya, baut berorientasi vertikal) menempel pada bagian perputaran dari kepala ke tabung torsi yang tidak berotasi. Tabung torsi dipasang ke badan *gyroplane* melalui yang memungkinkan terjadi dua gerakan lateral dan longitudinal sehingga bisa dikendalikan.



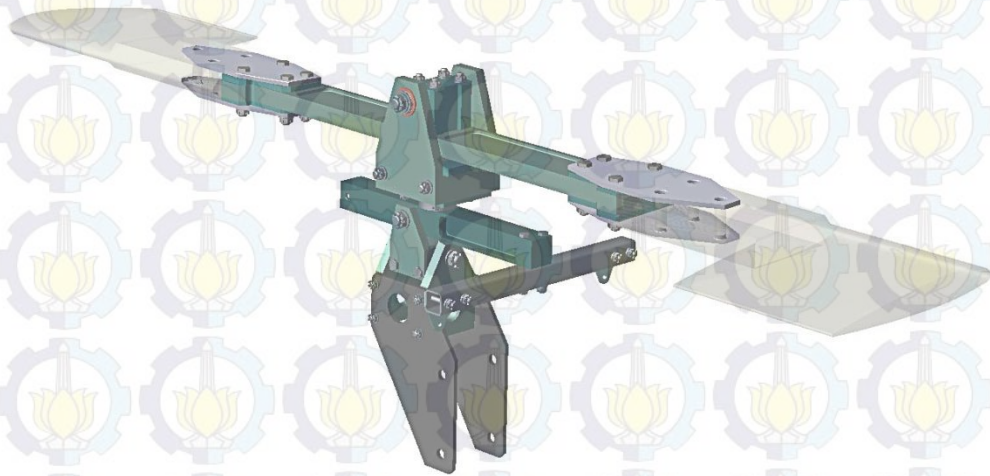
Gambar 2.18 Detail Rotor Head

Rotor hub bar dan bilah diizinkan untuk memiringkan oleh teeter-bolt. Dua bilah, semirigid, *teetering rotor system* terdiri atas aluminium *extruded* berkekuatan tinggi, sebuah hub bar dan engsel perakitan.

Baling-baling yang memiliki profil aerodinamis sangat cocok untuk pesawat rotor dan dikombinasikan dengan pusat relatif gravitasi, memberikan stabilitas aerodinamis. Profil pisau berongga disegel pada kedua ujungnya dengan pisau plastik. Aluminium rotor hub bar menghubungkan pisau untuk setiap sisi menggunakan 6 baut pas (9 baut di hub bar sebelumnya) dan profil penjepit. Dalam

rangka untuk mengimbangi aliran udara asimetris di depan pesawat baling-baling bebasketeeter. Engsel perakitan terdiri dari *tower teeter*, *teeter baut* dan *teeterblok*.

The teeter bolt melajudi sepanjang Teflon panjang yang dilapisiteeter *block* (*main bearing action*), serta dua *bushingditeeter tower* (*emergency bearing action*).Pergerakan bantalan utamadidukung oleh minyak khusus yang diterapkan menggunakanminyak nipple di atasteeter *block*.



Gambar 2.19 *Main Rotor*

Berikut merupakan spesifikasi rotor yang digunakan dalam *gyroplane* ini:

- Type : 2-bladed, fixed pitch, free to teeter
- Material : EN AW 6005A T6 aluminum extrusion
- Rotor diameter : 8.4 m
- Direction : Rotor – counter clockwise, Propeller – counter clockwise
- Mechanical pre-rotator (Capability : 0-300 RRPM)
- Safe take off procedure : start at 100 increase to 200-220 RRPM
- Rotor head controlled with connecting rods
- Control deflection :

Rotor Head – Roll: 16° Total	Rotor Head – Pitch:	Rudder Deflection: Left: 40° ±5° Total
---------------------------------	------------------------	---

	19° Total	Right: 45° ±5° Total
--	-----------	----------------------

2.9 Peta-peta Kerja

Peta kerja merupakan alat yang menggambarkan kegiatan kerja secara sistematis dan jelas. Lewat peta-peta ini semua langkah atau kejadian yang dialami oleh suatu benda kerja dapat terlihat mulai dari masuk ke pabrik (berbentuk bahan baku), kemudian semua langkah yang dialaminya, seperti transportasi, operasi mesin, pemeriksaan dan perakitan, sampai akhirnya menjadi produk jadi. Produk jadi dapat berupa produk lengkap atau merupakan bagian dari suatu produk lengkap. Pemahaman yang seksama terhadap suatu peta kerja akan memudahkan dalam memperbaiki metoda kerja dari suatu proses produksi. Pada dasarnya semua perbaikan tersebut ditujukan untuk mengurangi biaya produksi secara keseluruhan.

Peta-peta dibagi ke dalam dua kelompok besar berdasarkan kegiatannya, yaitu peta-peta kerja yang digunakan untuk menganalisis kegiatan kerja keseluruhan dan peta kerja setempat. Yang termasuk peta kerja keseluruhan adalah Peta Proses Operasi (OPC), Peta Aliran Proses (FPC), Peta Proses Kelompok Kerja (GPC), Diagram Alir (FD), dan *Assembly Chart* (AC). Yang termasuk peta kerja setempat adalah Peta Pekerja dan Mesin, Peta Tangan Kanan-Tangan Kiri.

Peta kerja keseluruhan melibatkan sebagian besar atau seluruh sistem kerja yang dilakukan dalam membuat produk yang bersangkutan. Sedangkan peta kerja setempat menggambarkan kegiatan kerja setempat, apabila hal itu menyangkut hanya satu sistem kerja saja yang biasanya melibatkan orang dan fasilitas dalam jumlah terbatas. Kedua peta kerja akan terlihat saling berhubungan erat apabila untuk menyelesaikan suatu produk diperlukan beberapa stasiun kerja, dimana satu sama lainnya saling berhubungan, misalnya suatu perusahaan perakitan memiliki beberapa mesin produksi atau stasiun kerja. Dalam hal ini, kelancaran proses produksi secara keseluruhan akan sangat tergantung pada kelancaran setiap stasiun kerja. Untuk memperbaiki proses secara keseluruhan yang harus dilakukan pertama adalah

memperbaiki atau menyempurnakan setiap sistem kerja yang ada sedemikian rupa sehingga diperoleh suatu urutan kerja yang paling baik.

2.9.1 Peta Tangan Kiri dan Tangan Kanan

Peta tangan kiri-tangan kanan merupakan suatu alat dari studi gerakan untuk mengetahui gerakan-gerakan yang dilakukan oleh tangan kiri dan tangan kanan dalam melakukan pekerjaan yang biasanya adalah proses perakitan. Peta ini menggambarkan semua gerakan saat bekerja dan waktu menganggur yang dilakukan oleh tangan kiri dan tangan kanan. Peta ini juga menunjukkan perbandingan antara tugas yang dibebankan pada tangan kiri-dan tangan kanan. Peta ini menggambarkan operasi secara cukup lengkap sehingga sangat praktis untuk memperbaiki suatu pekerjaan manual, yakni saat setiap siklus dari pekerja terjadi dengan cepat secara berulang.

PETA TANGAN KIRI DAN TANGAN KANAN

PEKERJAAN : MEMASANG BAN
 DEPARTEMEN : 1-
 NOMOR PETA : 01
 SEKARANG : ☒ USULAN : ☐
 DIPETAKAN OLEH : AE-43
 TANGGAL DIPETAKAN : 4 DESEMBER 2013

Tangan kiri	Jarak (cm)	waktu (det)	Isi	waktu (det)	Jarak (cm)	Tangan kanan
Mengambil p	35	1		1	35	Mengambil roda
Memasang p pada roda	15	1		1	15	Memasang p pada roda
Menunggu	0	1		1	25	Mengambil lego
Memasang p & roda pada lego	15	7		7	15	Memasang p & roda pada lego
Mengambil p	35	1		1	35	Mengambil roda
Memasang p pada roda	15	1		1	15	Memasang p pada roda
Menunggu	0	1		1	25	Mengambil Lego
Memasang p & roda pada lego	15	7		7	15	Memasang p & roda pada lego
Mengambil p	35	1		1	35	Mengambil roda
Memasang p pada roda	15	1		1	15	Memasang p pada roda
Menunggu	0	1		1	25	Mengambil Lego
Memasang p & roda pada lego	15	7		7	15	Memasang p & roda pada lego
Mengambil p	35	1		1	35	Mengambil roda
Memasang p pada roda	15	1		1	15	Memasang p pada roda
Menunggu	0	1		1	25	Mengambil Lego
Memasang p & roda pada lego	15	7		7	15	Memasang p & roda pada lego
Mengecek fungsi ban	15	14		14	15	Memegang Lego
TOTAL	275	49		49	375	

Ringkasan

WAKTU TIAP SIKLUS : 49 DETIK

JUMLAH PRODUK TIAP SIKLUS : 1 BUAH

WAKTU UNTUK MEMBUAT SATU PRODUK : 49 DETIK

Gambar 2.20 Contoh Lembar Kerja Peta Tangan Kiri dan Tangan Kanan

Peta ini sangat baik untuk menganalisis suatu sistem kerja sehingga memperoleh perbaikan tata letak peralatan, pola gerakan pekerja yang baik, urutan pekerjaan yang baik. Dengan menggunakan peta ini dapat dilihat dengan jelas pola-pola gerakan yang tidak efisien maupun gerakan-gerakan yang tidak perlu. Untuk menjaga agar pekerjaan tetap berada dalam wilayah kerja yang normal maka tidak cukup hanya dengan mengoptimasi *layout*, perlu tambahan pertimbangan anatomi juga. Kegunaan peta tangan kiri dan tangan kanan adalah sebagai berikut:

- Menyeimbangkan gerakan kedua tangan dan mengurangi kelelahan.
- Menghilangkan atau mengurangi gerakan-gerakan yang tidak efisien dan tidak produktif, sehingga akan mempersingkat waktu kerja.
- Sebagai alat untuk menganalisis tata letak sistem kerja.
- Sebagai alat untuk melatih pekerja yang baru, dengan cara kerja yang ideal.

Prinsip-prinsip pembuatan peta tangan kiri dan tangan kanan adalah sebagai berikut:

- 1) Berbeda dengan peta-peta yang lain, untuk membuat peta tangan kanan-tangan kiri, lembar kertas dibagi dalam tiga bagian.
- 2) Pada bagian kepala, di baris paling atas ditulis "PETA TANGAN KANAN-TANGAN KIRI".
- 3) Pada bagian yang membuat bagan, digambarkan sketsa dari sistem kerja yang memperlihatkan skala, sesuai dengan tempat kerja sebenarnya.
- 4) Bagian badan dibagi dalam dua pihak, sebelah kiri kertas digunakan untuk menggambarkan kegiatan yang dilakukan tangan kiri dan sebaliknya, sebelah kanan kertas digunakan untuk menggambarkan kegiatan yang dilakukan tangan kanan pekerja.
- 5) Langkah selanjutnya, diperhatikan urutan-urutan gerakan yang dilaksanakan operator.

2.9.2 Prinsip-prinsip Ekonomi Gerakan

Prinsip-prinsip yang digunakan untuk menyusun gerak yang paling ekonomis ditinjau dari dua aspek, yaitu terhadap penggunaan anggota badan dan tempat kerja Berdasarkan penggunaan anggota badan yang bekerja sebagai berikut:

- Sedapat mungkin kedua tangan akan memulai dan menyelesaikan suatu pekerjaan dalam waktu yang sama.
- Sedapat mungkin kedua tangan tidak menganggur secara bersamaan, kecuali pada waktu istirahat.
- Gerak dari tangan hendaknya seimbang dan serentak.
- Gerak dari tangan dan tubuh sedapat mungkin merupakan gerakan yang serasi, sehingga tidak menimbulkan gangguan pada kesehatan para karyawan.
- Keseimbangan dari kecepatan dan ketepatan bergerak selalu dijaga.
- Diutamakan menyusun gerakan yang lancar dan rata secara terus menerus sehingga memudahkan karyawan untuk mempelajarinya.
- Gerakan untuk pemindahan barang dilaksanakan dengan cepat dan semudah mungkin.
- Pelaksanaan pekerjaan sedapat mungkin diusahakan dalam bentuk gerakan-gerakan normal, simetris, dan tidak menyilang.
- Akomodasi mata sedapat mungkin diusahakan tidak menimbulkan "cepat lelah".

Untuk menciptakan gerakan yang ekonomis ditinjau dari tempat kerja menggunakan prinsip:

- Semua peralatan yang dipergunakan serta bahan-bahan yang diperlukan ditempatkan secara tetap di sekitar tempat karyawan.
- Peralatan, bahan, serta alat pengawasan ditempatkan pada lokasi yang mudah dijangkau oleh karyawan yang mempergunakannya.
- Perpindahan material dari gudang ke tempat karyawan sedapat mungkin mempergunakan hukum gaya berat, sehingga menghemat tenaga.

- Penggunaan "*drop deliveries*" (pemasukan barang dengan jalan penjatuhan/tempat barang tersebut di bawah karyawan) sedapat mungkin dipergunakan.
- Bahan-bahan dan peralatan ditempatkan dalam lokasi yang baik sehingga karyawan dapat mengambil dengan urutan yang baik.
- Penerangan hendaknya tepat mengenai obyek kerja karyawan dengan membuat penerangan yang cukup. Sedapat mungkin arah penerangan ini tidak menyilaukan karyawan dan juga tidak mengaburkan penglihatan karyawan.
- Tingginya tempat kerja dan tempat duduk dibuat secara serasi mungkin sehingga memudahkan karyawan untuk sewaktu-waktu berdiri dan duduk kembali.

2.9.3 Studi Waktu

Penelitian waktu dilakukan setelah ditemukan gerakan yang efisien. Tanpa menentukan gerak yang efisien terlebih dahulu, data waktu hasil penelitian waktu itu tidak dapat digunakan sebagai penentuan standar waktu yang tepat untuk menyelesaikan suatu pekerjaan. Penelitian waktu adalah teknik pengukuran waktu kerja untuk mencatat waktu setiap elemen pekerjaan. Penelitian waktu bertujuan untuk menentukan waktu siklus, waktu normal, dan waktu penyesuaian yang diperlukan oleh pekerja dalam melakukan suatu pekerjaan. Alat yang biasa digunakan adalah daftar isian, jam henti, atau kamera video.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam Bab Metodologi Penelitian akan menjelaskan mengenai tahapan yang dilakukan dalam melakukan penelitian Tugas Akhir ini. Tahapan tersebut merupakan kerangka berpikir sistematis penulis (Gambar 3.1) sehingga dapat mencapai tujuan penelitian. Penelitian ini terdiri dari tiga tahapan utama, yaitu tahap identifikasi dan perumusan masalah, tahap pengumpulan dan pengolahan data, tahap analisa dan pengambilan kesimpulan. Berikut ini adalah rincian langkah-langkah tiap tahapan tersebut:

1. Studi Pustaka dan Studi Lapangan

Tahap pertama yang dilakukan adalah studi pustaka dan studi lapangan. Studi pustaka dilakukan untuk mencari dan mempelajari dasar teori dari berbagai sumber literatur yang menjadi landasan dalam penelitian ini mengenai konsep DFA serta penggunaan DFA *software*. Sedangkan pada tahap studi lapangan melakukan identifikasi masalah yang terjadi pada implementasi CE pada PT Bayu Aircraft Indonesia kemudian merumuskan masalah yang terjadi dan menentukan tujuan penelitian. Terakhir, penentuan ruang lingkup penelitian sehingga penelitian lebih fokus dan tepat sasaran.

2. Tahap Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan identifikasi produk amatan. Maksudnya, mengumpulkan spesifikasi produk secara detail sesuai yang dibutuhkan. Seperti bagaimana dan apa saja komponen pembangun produk, data waktu proses produksi serta biaya perakitan. Dari data tersebut dapat ditelaah bagaimana konsep DFA diterapkan pada PT Bayu Aircraft Indonesia.

3. Input Data Desain Awal Produk

Setelah data terkumpul, maka dilakukan *input* data desain awal ke dalam *software*. Data-data yang dibutuhkan dalam *software* ini antara lain: *product definition, securing method, minimum part criteria, envelope*

dimension symmetry, handling difficulties, insertion difficulties, labor time, manufacturing data, picture. Langkah pengerjaan pada *software* ini adalah dengan memasukkan data-data yang telah disebutkan dari komponen penyusun produk sesuai dengan urutan awal hingga akhir perakitan, selanjutnya memasukkan operasi tambahan yang dibutuhkan dalam merakit.

4. Analisa Desain Awal Produk

Pada tahap ini, desain awal produk dianalisa berdasarkan data yang didapat dari hasil pengolahan DFA *Software*. Analisa dilakukan terhadap jumlah komponen, waktu perakitan, biaya perakitan, yang kemudian akan diketahui berapa nilai DFA indeks nya.

5. Input Data Desain Perbaikan

Setelah melakukan analisa desain awal, maka selanjutnya dilakukan *input* data desain perbaikan ke dalam *software*. Data-data yang dibutuhkan dan langkah pengerjaan seperti saat pengolahan data desain awal.

6. Analisa Desain Perbaikan Produk

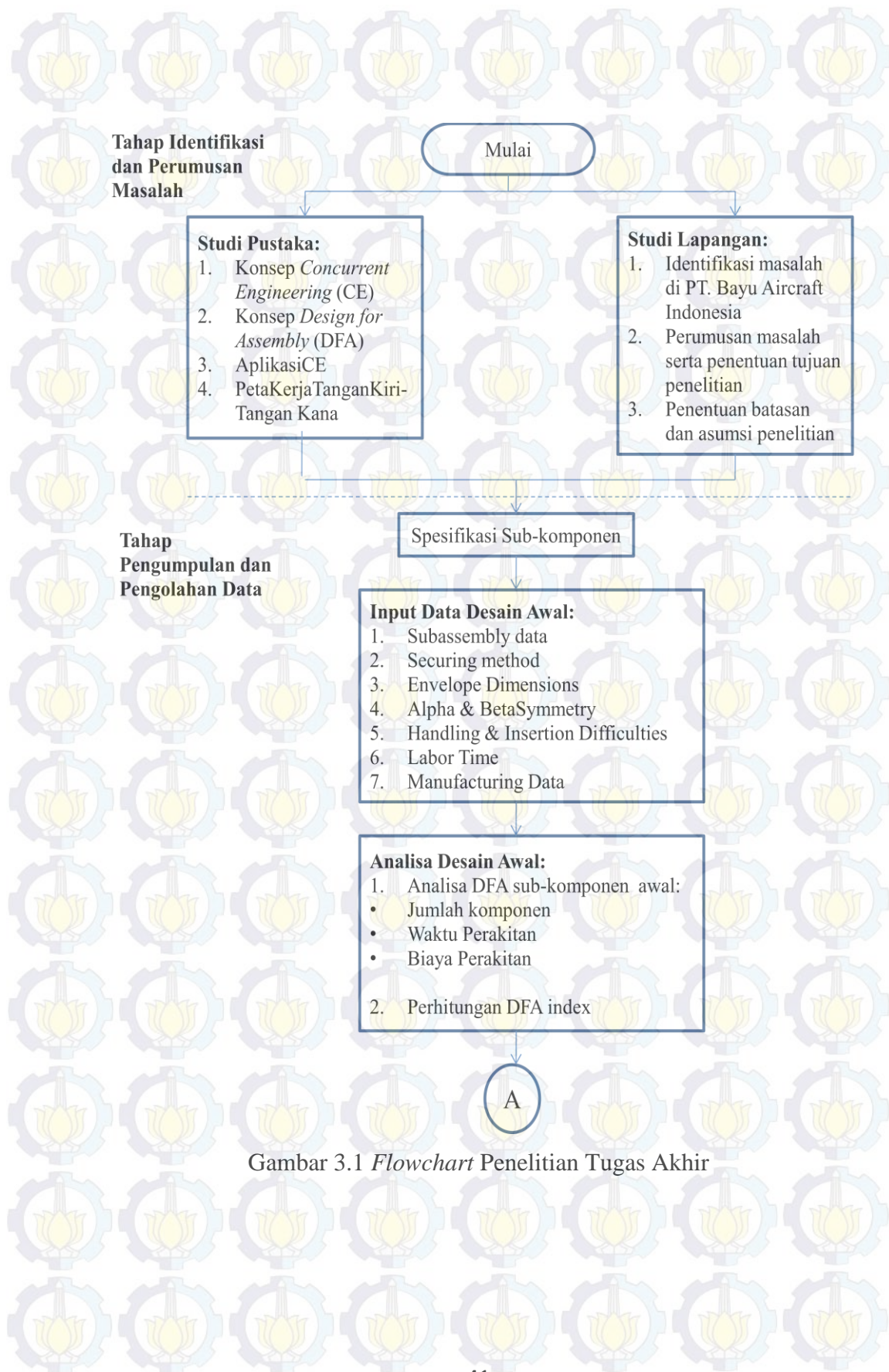
Seperti pada tahap keempat, desain perbaikan produk dianalisa berdasarkan data yang didapat dari hasil pengolahan DFA *Software*. Analisa dilakukan terhadap jumlah komponen, waktu perakitan, biaya perakitan, yang kemudian akan diketahui berapa nilai DFA indeks nya. Setelah itu dilakukan perbandingan antara desain perbaikan dengan desain awal produk.

7. Analisa *layout* perakitan

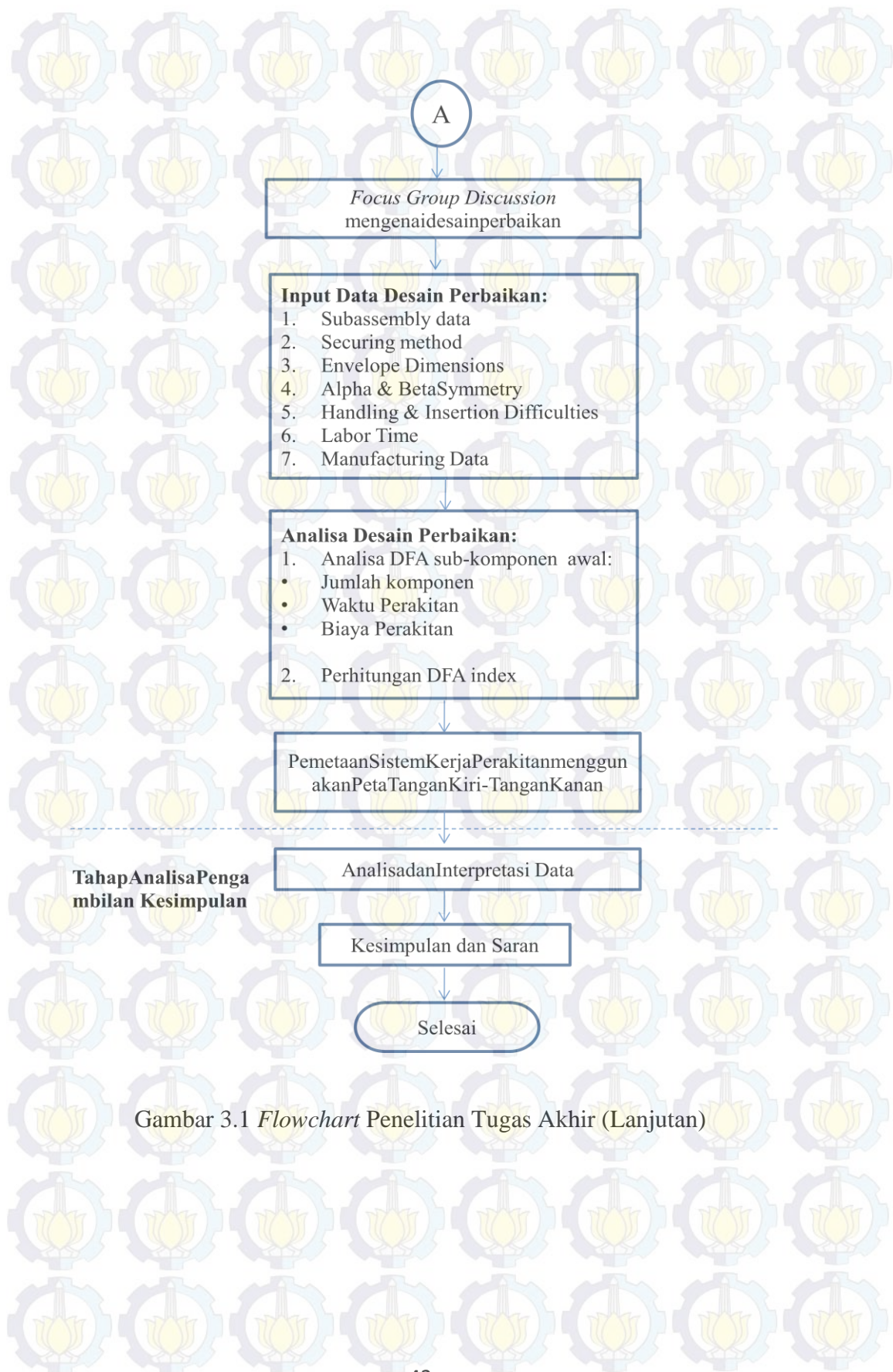
Analisa *layout* perakitan menggunakan prinsip ekonomi gerakan setempat yakni peta tangan kiri-tangan kanan. Jika *layout* yang ada berpotensi menyebabkan *delay* dan dapat diperbaiki, maka akan dilakukan perbaikan.

8. Kesimpulan dan Saran

Tahap ini merupakan tahap penarikan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan berdasarkan tujuan penelitian dan pengolahan serta interpretasi data. Selain itu, diberikan saran agar berguna bagi penelitian lebih lanjut.



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian Tugas Akhir



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian Tugas Akhir (Lanjutan)

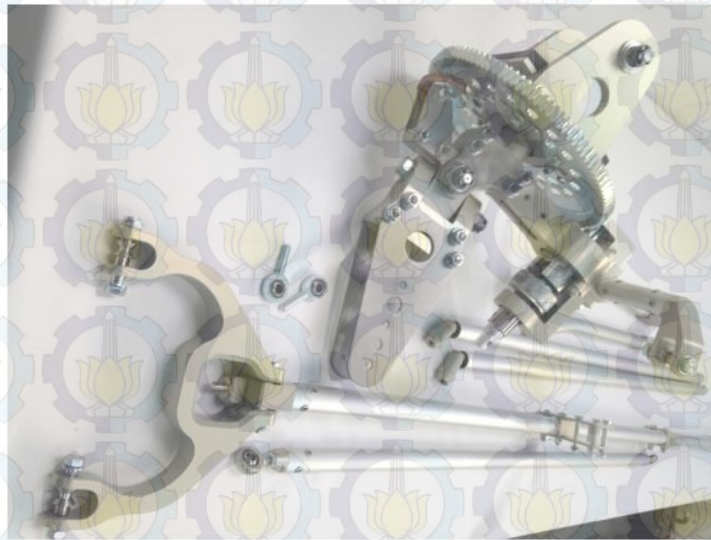
BAB 4

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Dalam Bab 4 ini akan dijelaskan mengenai pengumpulan dan pengolahan data yang dilakukan selama penelitian.

4.1 Pengumpulan Data

Rotor head merupakan salah satu komponen utama penyusun *gyroplane*. *Rotor head* ini berfungsi sebagai penghubung antara dua bilah baling-baling *gyroplane* serta menghubungkan *main rotor* ke kerangka utama dan sistem kendali. Gambar 4.1 menunjukkan komponen *rotor head* dan beberapa komponen lain yang nantinya dihubungkan dengan *rotor system*.



Gambar 4.1 *Rotor Head* dengan Beberapa Komponen Lain

Rotor Head dibuat melalui proses *milling* dengan bahan baku Alumunium SAE 4130.

- Bebas perawatan *bearing* dan *bushing*.
- Meskipun memiliki tugas yang berat, bebas perawatan *fit bolt* dan *rotation axes*.
- Mesin *pre-rotator* digerakkan oleh pedal kaki.

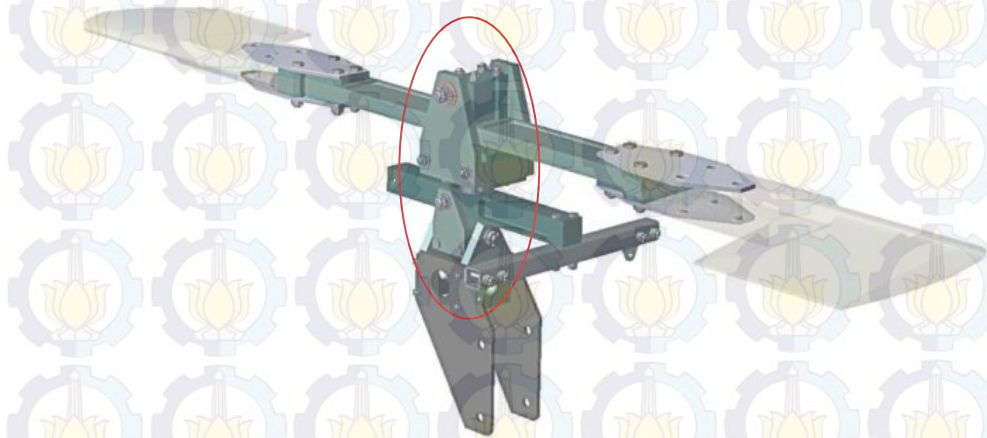
- Mesin brake digerakkan oleh *control stick*.
- Stainless Steel termasuk bahan yang kuat.

4.2 Data Desain Awal

Subbab ini akan menjelaskan data-data yang didapat dari perakitan desain awal *rotor head*. Diantaranya ada komponen penyusun, proses produksi, proses perakitan dan biaya perakitan.

4.2.1 Komponen Penyusun Desain Awal


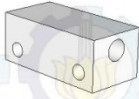



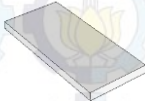






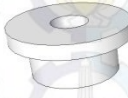



Produk yang menjadi objek pengamatan dalam Tugas Akhir ini adalah *Rotor Head* pada *Gyroplane* yang diproduksi oleh PT. Bayu Aircraft Indonesia seperti pada Gambar 4.2 di bawah ini:








Gambar 4.2 *Rotor Head Gyroplane*

Rotor Head disusun oleh sebanyak 52part. Part-part penyusun *rotor head* ditunjukkan pada Tabel 4.1 di bawah ini. Tabel 4.1 memberikan informasi mengenai nomor *part*, nama*part*, jumlah *part* yang dibutuhkan dan spesifikasinya.

Tabel 4.1 Daftar *Part Penyusun Rotor Head Gyroplane*

No	Nama Komponen	Jumlah	Keterangan	No	Nama Komponen	Jumlah	Keterangan
1	Forks	2		12	Pivot Lateral	1	
2	Bush Teeter	2		13	Control Arms	2	
3	Block Teeter	1		14	Arms Plates	2	
4	Plate Stop	1		15	Bendix Housing	2	
5	Bearing Housing	1		16	Bendix Housing	2	
6	Bar Hub	1		17	Rotor shaft	1	
7	Bush Bearing Upper	1		18	Locking Pin	1	
8	Bush Bearing Lower	1		19	Bolt 4 mm	16	

Tabel 4.1 Daftar *Part* Penyusun *Rotor Head Gyroplane*(lanjutan)

No	Nama Komponen	Jumlah	Keterangan	No	Nama Komponen	Jumlah	Keterangan
9	Driven Gear	1		20	Bolt 8 mm	10	
10	Disc Brake	1		21	Bolt 10 mm	2	
11	Torque Tube	1					

Total komponen penyusun *rotor head* secara keseluruhan adalah sebanyak 52 komponen.

4.2.2 Deskripsi Proses Produksi

Untuk pembuatan *rotor head* ini mengikuti alur produksi sebagai berikut:

1. Persiapan *raw material* yang akan digunakan

Tahap awal dalam proses produksi *rotor head* adalah penerimaan dan persiapan *raw material* yang akan digunakan. Mulai dari memasok bahan baku, melakukan proses inspeksi apakah bahan baku layak digunakan, *warehouse material* dan mengelompokkan bahan bakusejenis untuk kemudian diproses di bagian *machining* dan *painting*. Untuk bahan baku yang digunakan untuk pembuatan komponen penyusun *rotor head* ditunjukkan dalam Tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.2 Bahan Baku Komponen Penyusun *Rotor Head*

No	Part Name	Repeat Count	Material	Volume (mm3)	Massa Jenis (gr/mm3)	Berat (kg)
1	Forks	2	Stainless Steel SAE 4130	103342.17	0.0078	0.806
2	Bush Teeter	2	Stainless Steel SAE4130	12901.81	0.0078	0.101

Tabel 4.2 Bahan Baku Komponen Penyusun *Rotor Head*

No	Part Name	Repeat Count	Material	Volume (mm ³)	Massa Jenis (gr/mm ³)	Berat (kg)
3	Block Teeter	1	2024-T3	106874.14	0.00277	0.296
4	Plate Stop	1	Stainless Steel SAE 4130	50467.335	0.0078	0.394
5	Bearing Housing	1	2024-T3	89624.245	0.00277	0.248
6	Bar Hub	1	Stainless Steel SAE 4130	733691.8	0.0078	5.723
7	Bush Bearing Upper	1	Stainless Steel SAE4130	13369.514	0.0078	0.104
8	Bush Bearing Lower	1	Stainless Steel SAE 4130	30308.859	0.0078	0.236
9	Driven Gear	1	Beli	103433.69	0.0078	0.806
10	Disc Prerorator	1	Beli	-	-	0.751
11	Torque Tube	1	Stainless Steel SAE 4130	255057.23	0.0078	1.989
12	Pivot Lateral	1	Stainless Steel SAE 4130	43615.004	0.0078	0.3402
13	Control Arms	2	Stainless Steel SAE4130	48237.313	0.0078	0.3763
14	Arms Plates	2	Stainless Steel SAE 4130	25641.025	0.0078	0.200
15	Bendix Housing	2	Stainless Steel SAE4130	51282.051	0.0078	0.400
16	Bendix Housing	2	Stainless Steel SAE 4130	53846.153	0.0078	0.420
17	Rotor shaft	1	Beli	-	-	0.300
18	Locking Pin	1	Beli	-	-	0.005
19	Bolt 4 mm		Beli	-	-	0.005
20	Bolt 6 mm	2	Beli	-	-	0.007
21	Bolt 10 mm	2	Beli	-	-	0.0075

2. *Machining*

Dalam tahap *machining* ini, dilakukan pemrosesan dari material setengah jadi yakni berupa *aluminium single block* menjadi *part-part* penyusun *Rotor Head*. Proses ini menggunakan Mesin CNC Type ECOCA SJ-20 CNC LATHE. Bagian-bagian yang melalui mesin CNC dan proses *milling* antara lain yang berbentuk batang atau lembaran baja. Setelah berbentuk, dilakukan proses *painting*.

3. *Assembling*

Assembling merupakan bagian yang berhubungan dengan perakitan atau pengelasan sehingga menjadi satu kesatuan yang utuh.

4. Inspeksi

Setelah proses perakitan *rotor head* selesai, maka terakhir dilakukan inspeksi untuk menjaga kualitas *rotor head* dan kesesuaiannya dengan rancangan yang digunakan.

4.2.3 Deskripsi Proses Perakitan

Proses perakitan yang dilakukan dalam produksi *rotor head* ini adalah secara manual. Sebelumnya, komponen-komponen yang akan dirakit ditempatkan secara berkelompok di suatu wadah untuk memudahkan perakitan. Berikut merupakan urutan perakitan secara garis besar:

1. Perakitan Bagian Atas *Rotor Head*

Perakitan *Tower Platers, Plate Stop, Bearing Housing, Rotor Hub Block, Driven Gear, Disk Brake, Rotor Shaft* dan *Control Gimbal*. Perakitan ini menggunakan

2. Perakitan Bagian Bawah (*Control Arm & Bendix Housing*)

Perakitan *Control Arm, Arm Plates* dan *Bendix Housing* sebagai kendali pergerakan *rotor*.

3. Perakitan Bagian Atas dan Bawah

Menyatukan bagian atas yang sudah dirakit sebelumnya dengan bagian bawah menggunakan *locking pin* untuk mengunci keduanya.

4.2.4 *Assembly Chart* Proses Perakitan Desain Awal

Dalam proses perakitan yang dilakukan perusahaan, satu perakitan *rotor head* dilakukan oleh satu pekerja. Tidak ada peraturan standar yang digunakan perusahaan dalam memosisikan wadah-wadah tersebut di atas meja kerja perakitan. Pada Tabel 4.3 di bawah ini merupakan tahapan-tahapan perakitan satu unit *rotor head*.

Tabel 4.3 Urutan Proses Perakitan

No	Tahapan	Waktu (s)
Tahap Perakitan Komponen Atas		
1	Satu <i>Fork</i> dipegang menggunakan tangan kanan, tangan kiri mendekatkan <i>Bearing Housing</i> ke <i>Fork</i> . Keduanya dirakit menggunakan empat buah baut ukuran 4 mm.	280
2	<i>Fork</i> pertama yang sudah dirakit dengan <i>Bearing Housing</i> tersebut dipegang menggunakan tangan kiri. Tangan kanan mengambil <i>Fork</i> lain kemudian merakitnya dengan komponen di tangan kiri. Pada saat ini mur dikencangkan.	250
3	<i>Plate Stop</i> dirakit di atas <i>Bearing Housing</i> menggunakan empat buah baut.	235
4	<i>Head</i> yang sudah jadi kemudian di balik, kemudian dipasangkan <i>Disc Brake</i> dan <i>Driven Gear</i> dan dibaut dari bawah menggunakan empat buah baut.	220
5	<i>Bush Bearing Lower</i> dipasangkan ke lubang <i>Disc Brake</i> hingga menembus <i>Plate Stop</i> .	50
6	<i>Rotor Shaft</i> dimasukkan ke lubang <i>Bush Bearing Lower</i> .	65
7	<i>Head</i> dibalik lagi kemudian dipasangkan <i>Bush Bearing Upper</i> di <i>Plate Stop</i> .	50
8	<i>Rotor Shaft</i> dikencangkan di bagian <i>Plate Stop</i> .	80
Tahap Perakitan Komponen Bawah		
9	Satu <i>Control Arm</i> dipegang menggunakan tangan kanan digabung dengan <i>Pivot Lateral</i> . Dirakit menggunakan dua buah baut.	220
10	<i>Control Arm</i> pertama yang sudah dirakit dengan <i>Pivot Lateral</i> tersebut dipegang menggunakan tangan kiri. Tangan kanan mengambil <i>Control Arm</i> lain kemudian merakitnya dengan komponen di tangan kiri. Pada saat ini mur dikencangkan.	215
11	<i>Bendix Housing</i> kanan dipasang ke <i>Pivot Lateral</i> dengan dilapisi <i>Arm Plates</i>	350
12	<i>Bendix Housing</i> kiri dipasang ke <i>Pivot Lateral</i> dengan dilapisi <i>Arm Plates</i>	212
13	<i>Bendix Housing</i> depan dipasang ke <i>Pivot Lateral</i>	240
14	<i>Bendix Housing</i> belakang dipasang ke <i>Pivot Lateral</i>	210
Tahap Perakitan Akhir		
15	Pemasangan <i>Torque Tube</i> dengan <i>Control Arms</i>	220
16	Penyatuan Komponen Bawah dengan Komponen Atas	60
17	Pemasangan <i>Locking Pin</i> untuk merakit komponen atas dan bawah secara permanen	100
18	<i>Block Teeter</i> dipasang di bagian atas <i>Head (Forks)</i> yang sudah dirakit), menggunakan sebuah baut. <i>Block Teeter</i> ini nantinya akan dihubungkan ke <i>Rotor Hub</i> .	300
19	Pemasangan <i>Rotor Hub</i>	420

Total waktu untuk proses perakitan *Rotor Head* adalah 3727 detik atau lebih dari 62,2 menit.

4.2.5 Biaya Perakitan

Biaya perakitan merupakan biaya yang digunakan selama pengerjaan proses perakitan *rotor head*. Biaya tersebut terdiri dari biaya tenaga kerja dan biaya untuk peralatan yang digunakan.

Tabel 4.4 Biaya Perakitan (Rupiah)

Jenis	Biaya
Tenaga Kerja	Rp 2.710.000,00
Kunci Inggris 4 mm	Rp 40.000,00
Kunci Inggris 8 mm	Rp 65.000,00
Kunci Inggris 10 mm	Rp 78.300,00
Kunci L	Rp 12.000,00
Tang	Rp 34.000,00
Total	Rp 2.939.300,00

Dari Tabel 4.4 tersebut dapat diketahui bahwa biaya perakitan untuk satu unit *Rotor Head* adalah sebesar Rp 2.939.300,00 atau \$203,76 untuk biaya tenaga kerja dan \$17,2 untuk *tools*.

4.3 Pengolahan Data Desain Awal

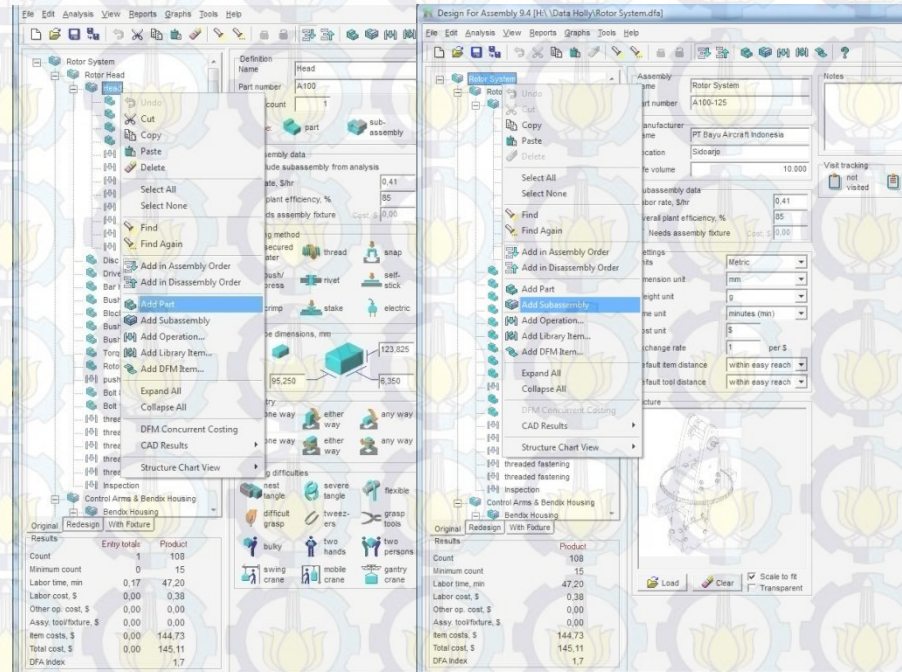
Dengan menggunakan data-data yang telah terkumpul, dapat dimulai mengolah data tersebut untuk mendapatkan gambaran mengenai kondisi desain awal. Analisa akan dikaitkan dengan komponen penyusun dan estimasi biaya. Berikut adalah pengolahan data pada penelitian Tugas Akhir ini menggunakan *software* DFA.

4.3.1 Input Data pada Software

Pengolahan data diawali dengan memasukkan data dari desain awal *rotor head* yang telah didapatkan. Berikut adalah langkah-langkah dalam memasukkan data menggunakan *software* DFA:

5. Add Part dan Add Subassembly

Langkah pertama yang dilakukan dalam pengolahan menggunakan *software* DFA adalah membuat *form part* untuk rotor head dan *form subassembly* untuk komponen penyusunnya.



Gambar 4.3 Add Part dan Add Subassembly

6. Memasukkan seluruh data komponen penyusun Rotor Head

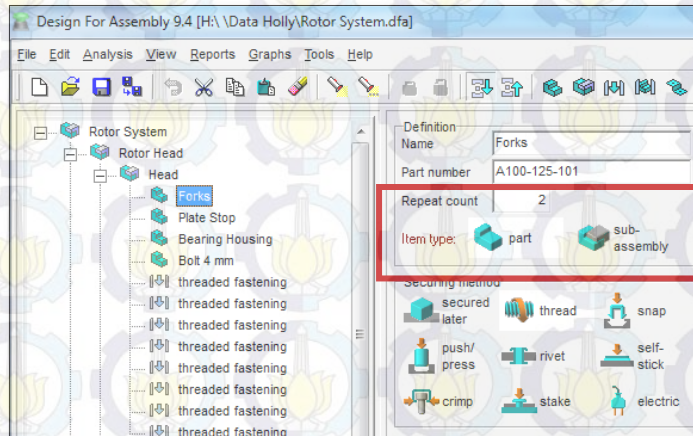
Data yang diinputkan antara lain *definition*, *securing method*, *minimum part criteria*, *envelope dimensions*, *alpha and beta symmetry*, *handling and insertion difficulties*, *labor time* dan *manufacturing data*.

- *Definition* mencakup data *namapart*, *part number*, jumlah yang dibutuhkan, dan tipe komponen tersebut, apakah berupa komponen ataukah *subassembly*.

Tabel 4.5 Pendefinisian *Part*

Part Name	Part Number	Repeat Count	Item type
Head			Subassembly
Forks	A100-125-101	2	Part
Plate Stop	A100-125-401	1	Part
Bearing Housing	A100-125-501	1	Part
Disc Prerorator	A100-125-1001	1	Part
Driven Gear	A100-125-901	1	Part
Bar Hub	A100-125-601	1	Part
Bush Bearing Upper	A100-125-701	1	Part
Bush Bearing Lower	A100-125-801	1	Part
Bush Teeter	A100-125-201	2	Part
Block Teeter	A100-125-301	1	Part
Torque Tube	A100-125-1101	1	Part
Rotor Shaft	B100-125-601	1	Part
Bolt 4 mm	AB-001A	8	Part
Bolt 8 mm	AB-002A	5	Part
Bolt 10 mm	AB-003A	1	Part
Control Arms & Bendix Housing			Subassembly
Pivot Lateral	B100-125-101	1	Part
Arms Plates	B100-125-301	2	Part
Control Arms	B100-125-201	2	Part
Bendix Housing	B100-125-501	2	Part
Bendix Housing	B100-125-401	2	Part
Bolt 4 mm	AB-001A	8	Part
Bolt 8 mm	AB-002A	5	Part
Bolt 10 mm	AB-003A	1	Part
Locking Pin	AB-100	1	Part

Data dalam Tabel 4.5 di atas kemudian dimasukkan ke dalam *software* seperti Gambar 4.4 di bawah ini.



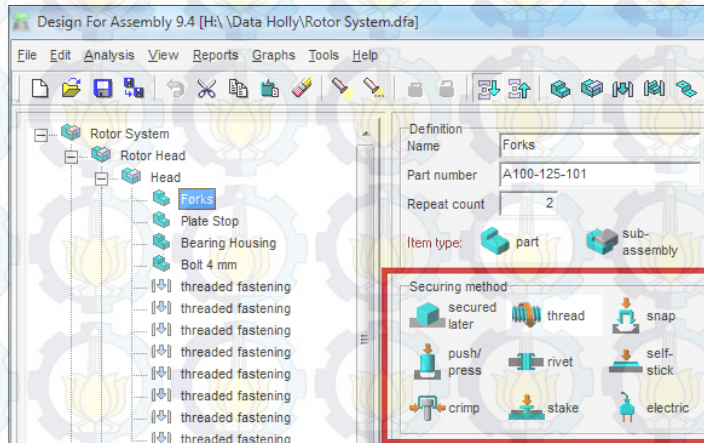
Gambar 4.4 Tampilan *Item Type* Pada Software DFA

- *Securing method* merupakan data mengenai penanganan suatu komponen.

Tabel 4.6 *Securing Method*

Part Name	Securing method	Part Name	Securing method
Head		Bolt 4 mm	Thread
Forks	Thread	Bolt 8 mm	Thread
Plate Stop	Thread	Bolt 10 mm	Thread
Bearing Housing	Thread	Control Arms & Bendix Housing	
Disc Prerorator	Thread	Pivot Lateral	Thread
Driven Gear	Stake	Arms Plates	Thread
Bar Hub	Thread	Control Arms	Thread
Bush Bearing Upper	Thread	Bendix Housing	Thread
Bush Bearing Lower	Thread	Bendix Housing	Thread
Bush Teeter	Thread	Bolt 4 mm	Thread
Block Teeter	Thread	Bolt 8 mm	Thread
Torque Tube	Thread	Bolt 10 mm	Thread
Rotor Shaft	Push	Locking Pin	Snap

Data dalam Tabel 4.6 di atas kemudian dimasukkan ke dalam *software* seperti Gambar 4.5 di bawah ini.



Gambar 4.5 Tampilan *Securing Method* Pada *Software DFA*

- *Minimum Part Criteria* melibatkan data yang akan mendukung apakah komponen tersebut termasuk dalam kandidat yang dapat dieliminasi atau tidak dengan menggunakan tiga pertanyaan dasar dalam DFA, yakni sebagai berikut:
 - 4) Apakah komponen tersebut memiliki pergerakan relative terhadap *part* lain yang telah dirakit sebelumnya?
 - 5) Apakah material komponen tersebut harus berbeda dari material komponen lain?
 - 6) Apakah komponen tersebut perlu dipisahkan dalam perakitan?
 Apabila dari ketiga pertanyaan tersebut satu saja terjawab “ya”, maka komponen tersebut tidak dapat dieliminasi. Tabel 4.7 berikut menunjukkan masukan data *minimum part criteria*.

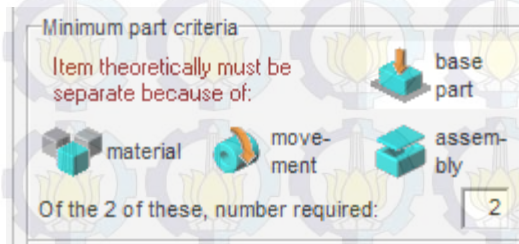
Tabel 4.7 *Minimum Part Criteria*

Part Name	Minimum Part Criteria	Part Name	Minimum Part Criteria
Head		Bolt 4 mm	Fasteners
Forks	Base Part	Bolt 8 mm	Fasteners
Plate Stop	Assembly	Bolt 10 mm	Fasteners
Bearing Housing	Base Part	Control Arms & Bendix Housing	
Disc Prerorator	Base Part	Pivot Lateral	Base Part

Tabel 4.7 *Minimum Part Criteria* (lanjutan)

Part Name	Minimum Part Criteria	Part Name	Minimum Part Criteria
Driven Gear	Base Part	Arms Plates	Other
Bar Hub	Base Part	Control Arms	Base Part
Bush Bearing Upper	Assembly	Bendix Housing	Assembly
Bush Bearing Lower	Assembly	Bendix Housing	Assembly
Bush Teeter	Assembly	Bolt 4 mm	Fasteners
Block Teeter	Base Part	Bolt 8 mm	Fasteners
Torque Tube	Base Part	Bolt 10 mm	Fasteners
Rotor Shaft	Connector	Locking Pin	Connector

Data dalam Tabel 4.7 di atas kemudian dimasukkan ke dalam *software* seperti Gambar 4.6 di bawah ini.



Gambar 4.6 Tampilan *Minimum Part Criteria* Pada *Software* DFA

- *Envelope Dimension* merupakan data mengenai ukuran produk, yakni panjang, lebar dan tinggi. Berikut merupakan data dimensi *part* penyusun *rotor head*.

Tabel 4.8 Dimensi Komponen

Part Name	Dimension (mm)		
	Length	Width	High
<i>Head</i>			
Forks	95,25	6,35	123,825
Plate Stop	76,2	127	6,35
Bearing Housing	193,548	241,93	60,48
Disc Prerorator	Diameter = 75,800		6,350
Driven Gear	Diameter = 85,800		6,350
Bar Hub	609,600	63,500	19,050

Tabel 4.8 Dimensi Komponen (lanjutan)

Part Name	Dimension (mm)		
	Length	Width	High
Bush Bearing Upper	41,275	Diameter = 18,653	
Bush Bearing Lower	41,275	Diameter = 31,353	
Bush Teeter	25,61	Diameter = 31,75	
Block Teeter	63,500	38,100	50,800
Torque Tube	31,750	311,50	31,750
Bolt 4 mm	25,4	Diameter = 4mm	
Bolt 8 mm	25,4	Diameter = 8mm	
Bolt 10 mm	25,4	Diameter = 10mm	
Control Arms & Bendix Housing			
Pivot Lateral	1,587	63,500	1,587
Arms Plates	38,100	6,350	51,990
Control Arms	12,700	50,800	52,388
Bendix Housing	63,500	1,587	60,325
Bendix Housing	63,500	1,587	51,990
Bolt 4 mm	25,4	Diameter = 4mm	
Bolt 8 mm	25,4	Diameter = 8mm	
Bolt 10 mm	50,8	Diameter = 10mm	
Locking Pin	50,8	Diameter = 10mm	

Data dalam Tabel 4.8 di atas kemudian dimasukkan ke dalam *software* seperti Gambar 4.7 di bawah ini.



Gambar 4.7 Tampilan *Envelope Dimensions* Pada *Software* DFA

- *Symmetry* merupakan data mengenai arah rotasi dilakukannya perakitan. Jika arah rotasi perakitan komponen 90° dari poros

penyisipannya, maka disebut *Alpha symmetry*. Sedangkan jika arah rotasinya sejajar dengan porosnya disebut *Beta symmetry*.

Tabel 4.9 *Symmetry*

Part Name	Symmetry	Part Name	Symmetry
<i>Head</i>		Bolt 4 mm	one way - one way
Forks	one way - one way	Bolt 8 mm	one way - one way
Plate Stop	either way - either way	Bolt 10 mm	one way - one way
Bearing Housing	either way - either way	<i>Control Arms & Bendix Housing</i>	
Disc Prerorator	either way - any way	Pivot Lateral	one way
Driven Gear	either way - any way	Arms Plates	one way - one way
Bar Hub	either way - either way	Control Arms	one way - one way
Bush Bearing Upper	one way - anyway	Bendix Housing	one way - one way
Bush Bearing Lower	one way - any way	Bendix Housing	one way - one way
Bush Teeter	one way - one way	Bolt 4 mm	one way - one way
Block Teeter	one way - any way	Bolt 8 mm	one way - one way
Torque Tube	one way - one way	Bolt 10 mm	one way - one way
Rotor Shaft		Locking Pin	

Data dalam Tabel 4.9 di atas kemudian dimasukkan ke dalam *software* seperti Gambar 4.8 di bawah ini.



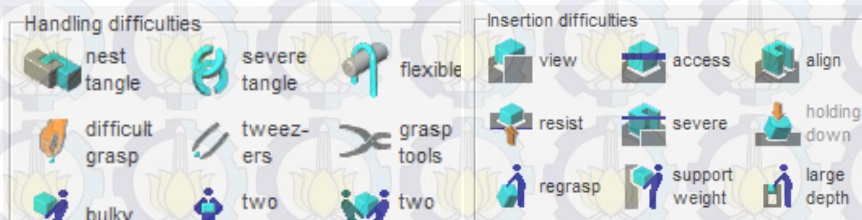
Gambar 4.8 Tampilan *Symmetry* Pada *Software* DFA

- *Handling difficulties* merupakan data tingkat kesulitan dalam memegang komponen pada saat perakitan. Sedangkan *Insertion difficulties* merupakan kesulitan dalam penyisipan komponen saat perakitan.

Tabel 4.10 *Handling Difficulties*

Part Name	Handling Difficulties	Part Name	Handling Difficulties
Head		Bolt 4 mm	Difficult Grasp
Forks	-	Bolt 8 mm	Difficult Grasp
Plate Stop	-	Bolt 10 mm	Difficult Grasp
Bearing Housing	-	Control Arms & Bendix Housing	
Disc Prerorator	-	Pivot Lateral	Holding down
Driven Gear	-	Arms Plates	Difficult Grasp
Bar Hub	-	Control Arms	Difficult Grasp
Bush Bearing Upper	-	Bendix Housing	-
Bush Bearing Lower	-	Bendix Housing	-
Bush Teeter	-	Bolt 4 mm	Difficult Grasp
Block Teeter	-	Bolt 8 mm	Difficult Grasp
Torque Tube	Nest Tangle	Bolt 10 mm	Difficult Grasp
Rotor Shaft	-	Locking Pin	-

Data dalam Tabel 4.10 di atas kemudian dimasukkan ke dalam *software* seperti Gambar 4.9 di bawah ini.



Gambar 4.9 Tampilan *Handling Difficulties* dan *Insertion Difficulties* Pada *Software* DFA

- *Manufacturing data* adalah data mengenai *piece part cost*, *item cost per item* dan *tooling investment*.

Tabel 4.11 *Manufacturing Data*

Part Name	Manufacturing Data			
	Piece part cost	Item cost per item	Tooling Investment	Weight per item
Head				
Forks	0,81	9,81	9	806
Plate Stop	0,79	3,79	3	394
Bearing Housing	0,60	3,60	3	248
Disc Prerorator	2,60	5,60	3	751
Driven Gear	3,00	3,00	0	806
Bar Hub	14,45	17,45	3	5723
Bush Bearing Upper	0,22	5,22	5	104
Bush Bearing Lower	0,48	5,48	5	236
Bush Teeter	0,20	6,20	6	101
Block Teeter	0,59	9,59	9	296
Torque Tube	3,98	8,98	5	1989
Rotor Shaft	0,78	5,78	5	300
Bolt 4 mm	0,23	0,23	0	5
Bolt 8 mm	0,45	0,45	0	7
Bolt 10 mm	0,48	0,48	0	7,5
Control Arms & Bendix Housing				
Pivot Lateral	0,65	7,65	7	340
Arms Plates	0,10	4,10	4	200
Control Arms	0,53	4,53	4	370
Bendix Housing	0,35	4,35	4	400
Bendix Housing	0,39	3,39	3	420
Bolt 4 mm	0,23	0,23	0	5
Bolt 8 mm	0,45	0,45	0	7
Bolt 10 mm	0,48	0,48	0	7,5
Locking Pin	0,50	0,50	0	5

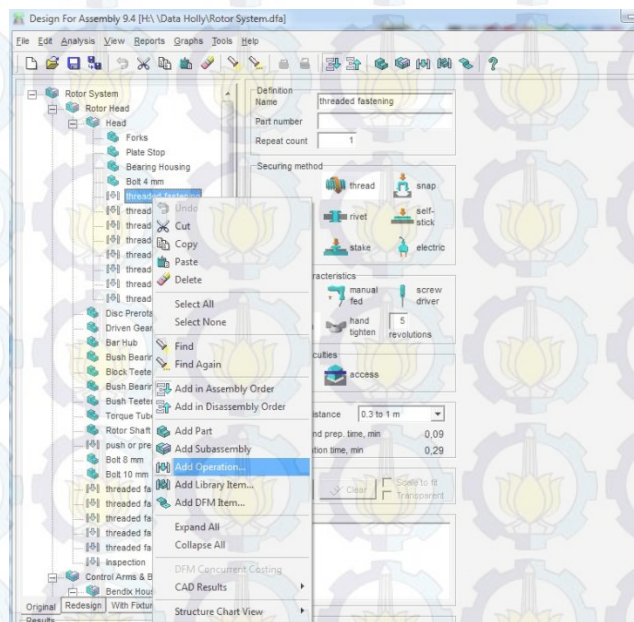
Data dalam Tabel 4.11 di atas kemudian dimasukkan ke dalam *software* seperti Gambar 4.10 berikut.

Manufacturing data		
	Item	Product
Piece part cost, \$	0,81	44,73
Item cost per item, \$	9,81	144,73
Tooling investment, \$	9	74
Weight per item, g	806,00	16274,00
Material	SAE 4130	
Process	Milling	

Gambar 4.10 Tampilan *Manufacturing Data* Pada *Software* DFA

7. Add Operation

Setelah memasukkan data keseluruhan komponen penyusun produk, langkah selanjutnya adalah menambahkan operasi pada komponen tersebut. Dalam perakitan *rotor head* ini terdapat dua operasi yakni, operasi *threaded fastening* dan *inspection* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.11 ini.



Gambar 4.11 Add Operation

Input data komponen penyusun *rotor head* ini dilakukan sesuai urutan proses perakitan dari awal hingga akhir.

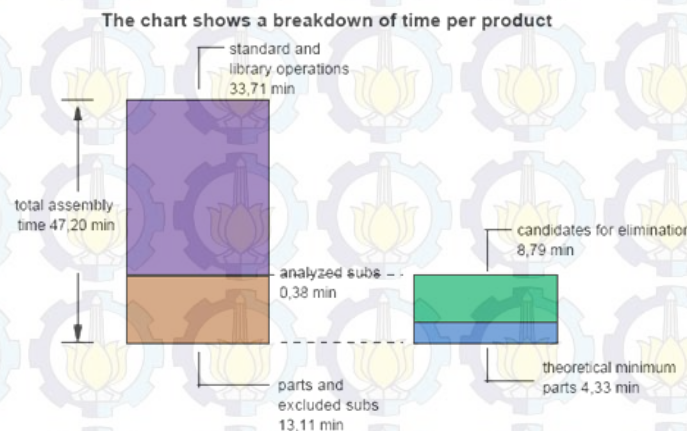
4.3.2 Hasil *Running Software*

Dari hasil *input* data menggunakan *software* DFA, didapatkan *output* data mengenai total *entries*, waktu kerja dan biaya tenaga kerja. Selain itu, terdapat diagram yang menjabarkan kebutuhan waktu selama perakitan produk *rotor head* menggunakan desain eksisting.

Tabel 4.12 *Excecutive Summary DFA*

Per Product data	Entries (including repeats)	Labor Time, min	Labor Cost, \$
Component parts	52	13,11	0,11
Subassemblies partially or fully analyzed	4	0,38	0,00
Subassemblies not to be analyzed (excluded)	0	0,00	0,00
Standard and library operations	52	33,71	0,27
Totals	108	47,20	0,38

Tabel di atas menunjukkan total *entries* komponen penyusun (*part* dan *subassembly*) sebanyak 52 unit, untuk waktu pengerjaan selama 47,20 menit atau 2832 detik dan biaya tenaga kerja sebesar \$ 0,38. Untuk detail kebutuhannya ditunjukkan dalam Gambar 4.12 di bawah ini.



Gambar 4.12 Kebutuhan Waktu Perakitan *Rotor Head*

Dari Gambar 4.12 tersebut dapat diketahui bahwa total waktu perakitan dilakukan selama 47,20 menit. *Standard and library operations* membutuhkan waktu selama 33,71 menit atau 71,42%. Sedangkan untuk perakitan komponen seperti *insertion* membutuhkan waktu 8,79 menit atau 18,62%. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa sebagian besar waktu perakitan digunakan untuk pengerjaan *standard and library operations*.

4.3.3 Identifikasi Komponen

Untuk menentukan komponen mana yang dapat dieliminasi atau digabungkan dengan komponen lainnya, maka dilakukan identifikasi komponen. Komponen penyusun diidentifikasi berdasarkan tiga kriteria teori DFA dalam *minimum part criteria*.

Setelah input data dalam *software* DFA, didapatkan data pada *executive summary* DFA mengenai *minimum part count* secara teori.

Tabel 4.13 Komponen yang Dapat Digabung atau Dieliminasi

No	Part Name	Part Number	Repeat Count	Remark
1	Bolt 4 mm	AB-001A	16	Fasteners
2	Bolt 8 mm	AB-002A	10	Fasteners
3	Bolt 10 mm	AB-003A	2	Fasteners
4	Locking Pin	AB-100	1	Connectors
5	Rotor Shaft	B100-125-601	1	Assembly
6	Bearing Housing	A100-125-501	1	Base Part
7	Arm Plates	B100-125-301	2	Assembly
8	Bendix Housing	B100-125-501	2	Base Part
9	Bendix Housing	B100-125-401	2	Base Part

Tabel 4.13 menunjukkan komponen-komponen yang disarankan untuk digabung ataupun dieliminasi. Diantaranta *fasteners*, *connector*, *assembly* dan bahkan *base part*. Namun, rekomendasi yang diberikan oleh DFA tidak secara langsung dapat diaplikasikan harus perubahan perancangan harus melalui uji kelayakan penerbangan terlebih dahulu.

4.3.3 Waktu, Biaya Perakitan dan *Assembly Efficiency* Desain Awal

Berikut akan dijelaskan mengenai rekap data waktu operasi perakitan komponen. Waktu operasi perakitan didapatkan dari pengolahan data menggunakan *software* DFA. Tabel di bawah menampilkan hasil *report* DFA mengenai waktu dan biaya tenaga kerja selama proses perakitan.

Tabel 4.14 Waktu dan Biaya Tenaga Kerja Proses Perakitan Desain Awal

Per product data						
	Entries (including repeats)	Number of different parts	Total time, min	Labor cost, \$	Item costs (including tooling), \$	Weight, g
Parts	52	24	13,11	0,11	144,73	16274,00
Subassemblies:						
Partially or fully analyzed	4	4	0,38	0,00	0,00	0,00
Named only	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Excluded	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Operations:						
Standard	30	3	10,53	0,08	-	-
Library	22	1	23,18	0,19	-	0,00
Column Totals	108	32	47,20	0,38	144,73	** 16274,00

Cost totals based on a product life volume of 10.000							
	Labor cost, \$	Other operation cost, \$	Manuf. piece part cost, \$	Total cost without tooling, \$	Assy. tool or fixture cost, \$	Manuf. tooling cost, \$	Total cost, \$
Cost per product	0,38	0,00	44,73	145,10	0,00	0,01	145,11
Production life cost	3.794	0	447.299	1.451.028	0	73	1.451.099

Perhitungan *assembly efficiency* dari desain awal adalah sebagai berikut:

$$Em = \frac{Nm \times ta \times 100}{tma}$$

$$Em = \frac{15 \times 3 \times 100}{47,20 \times 60}$$

$$Em = 1,58$$

Keterangan:

E_{ma} = *Assembly Efficiency* untuk perakitan manual

N_{min} = Jumlah *part* minimum secara teori

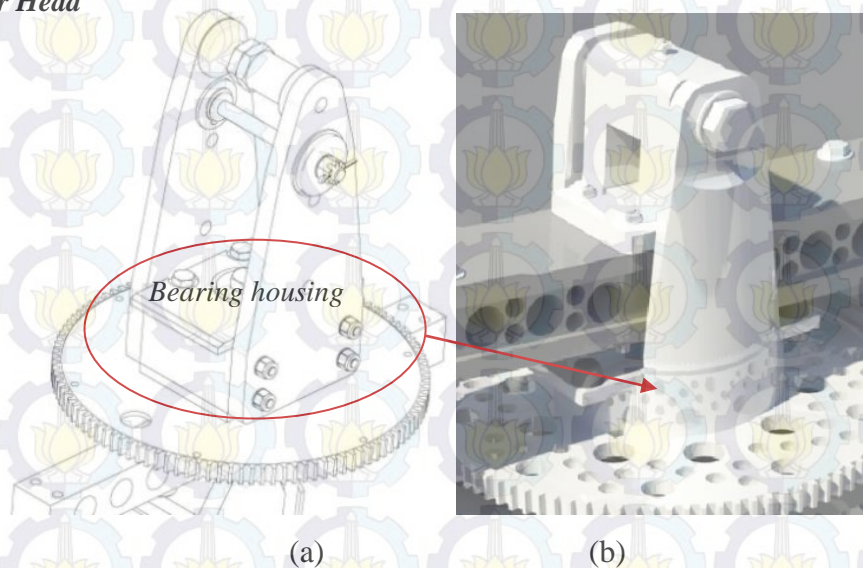
t_{ma} = Total waktu perakitan (menit)

t_a = Waktu perakitan ideal untuk satu komponen (3 detik)

4.2 Desain Perbaikan

Perbaikan desain rotor head harus dilandasi teori yang mencukupi. Perlu dilakukan uji kelayakan dan *sharing knowledge* dari bagian produksi rotor head di perusahaan tersebut. Oleh karena itu, dilakukan *Focus Group Discussion* (FGD) yang dihadiri oleh Kepala Operasional dan Bagian Produksi Rotor Head. Dari hasil diskusi yang dilakukan, didapatkan bahwa perubahan desain difokuskan pada bagian head dan housing yang memiliki komponen perakitan.

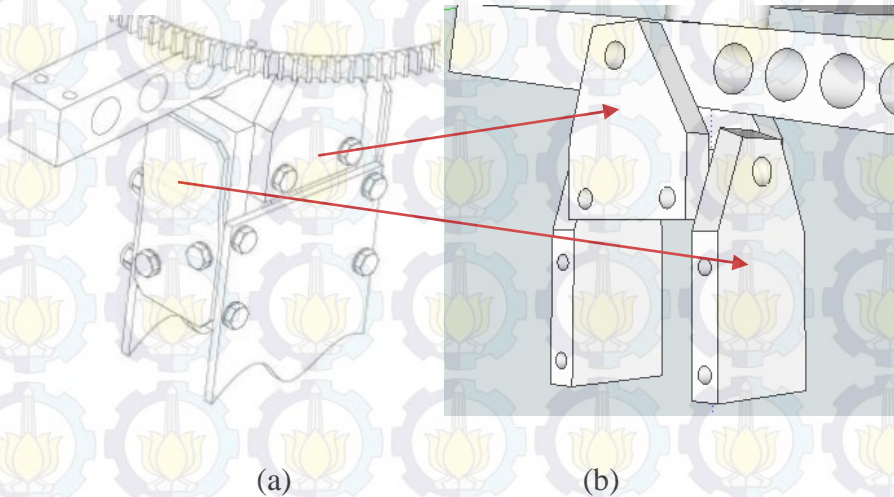
Bagian Rotor Head



Gambar 4.13 (a) Desain Awal Rotor Head. (b) Desain Perbaikan

Dari bagian rotor head dilakukan penggabungan antara dua forks dengan bearing housing. Sehingga menjadi single block, seperti pada Gambar 4.1 (b). Bentuk tersebut juga sudah digunakan untuk produk-produk di luar negeri dan lulus uji kelayakan. Perubahan tersebut merupakan salah satu rekomendasi perbaikan dari analisis DFA. Penggabungan bearing housing dengan forks menjadi single block ini juga secara langsung mengurangi penggunaan fasteners, yakni mur dan baut.

Bagian Bendix Housing







Gambar 4.14 (a) Desain Awal *Bendix Housing*.(b) Desain Perbaikan

Di bagian *bendix housing* dilakukan eliminasi *arm plate* sehingga lebih memudahkan perakitannya. Fungsi *arm plate* sudah dipenuhi oleh *fork* untuk bergabung dengan *pivot lateral*. Sehingga *fasteners* yang digunakan juga berkurang.

4.4.1 Komponen Penyusun Desain Perbaikan

Part-part penyusun *rotor head* desain perbaikan ditunjukkan pada Tabel 4.x di bawah ini. Tabel 4.x memberikan informasi mengenai nomor *part*, nama *part*, jumlah *part* yang dibutuhkan dan spesifikasinya.

Tabel 4.15 Komponen Penyusun Desain Perbaikan

No	Nama Komponen	Jumlah	Keterangan	No	Nama Komponen	Jumlah	Keterangan
1	Forks Head	1		11	Torque Tube	1	
2	Bush Teeter	2		12	Pivot Lateral	1	

Tabel 4.15 Komponen Penyusun Desain Perbaikan (lanjutan)

No	Nama Komponen	Jumlah	Keterangan	No	Nama Komponen	Jumlah	Keterangan
3	Block Teeter	1		13	Fork Longitudinal	2	
4	Plate Stop	1		14	Fork - lateral rear	1	
5	Bar Hub	1		15	Fork - lateral front stop	1	
6	Bush Bearing Upper	1		16	Locking Pin	1	
7	Bush Bearing Lower	1		17	Bolt 4 mm	6	
8	Disc Brake	1		18	Bolt 8 mm	10	
9	Driven Gear	1		19	Bolt 10 mm	2	
10	Rotor Shaft	1					

Setelah melakukan diskusi perbaikan desain, didapatkan bahwa jumlah komponen penyusun *rotor head* sebanyak 36 komponen.

4.4.2 Deskripsi Proses Perakitan

Proses perakitan yang dilakukan untuk produksi *rotor head* desain perbaikan ini hampir sama dengan perakitan desain awal. Sebelumnya, komponen-komponen yang akan dirakit ditempatkan secara berkelompok di suatu wadah untuk memudahkan perakitan. Berikut merupakan urutan perakitan desain baru secara garis besar:

1. Perakitan Bagian Atas *Rotor Head*

Perakitan *Fork Single Block*, *Rotor Hub Block*, *Driven Gear*, *Disk Brake*, *Rotor Shaft* dan *Torque Tube*. Perakitan ini menggunakan kunci inggris, kunci L dan tang.

2. Perakitan Bagian Bawah (*Control Arm & Bendix Housing*)

Perakitan *Control Arm* dan *Fork* sebagai kendali pergerakan *rotor*.

3. Perakitan Bagian Atas dan Bawah

Menyatukan bagian atas yang sudah dirakit sebelumnya dengan bagian bawah menggunakan *locking pin* untuk mengunci keduanya.

4.5 Pengolahan Data Desain Perbaikan

Dengan menggunakan data-data yang telah terkumpul, dapat dimulai mengolah data tersebut untuk mendapatkan gambaran mengenai kondisi desain perbaikan. Analisa akan dikaitkan dengan komponen penyusun dan estimasi biaya.

4.5.1 Input Data Desain Perbaikan pada Software

Pengolahan data diawali dengan memasukkan data dari desain perbaikan *rotor head* yang telah didapatkan. Berikut adalah langkah-langkah dalam memasukkan data menggunakan *software* DFA:

1. *Add Part* dan *Add Subassembly*

Seperti pada pengolahan desain awal, langkah pertama yang dilakukan dalam adalah membuat *form part* untuk *rotor head* dan *form subassembly* untuk komponen penyusunnya.

2. Memasukkan seluruh data komponen penyusun *Rotor Head*

Data yang diinputkan antara lain *definition, securing method, minimum part criteria, envelope dimensions, alpha and beta symmetry, handling and insertion difficulties, labor time* dan *manufacturing data*.

- *Definition* mencakup data nama *part*, *part number*, jumlah yang dibutuhkan, dan tipe komponen tersebut, apakah berupa komponen ataupun *subassembly*.

Tabel 4.16 Pendefinisian *Part*

Part Name	Part Number	Repeat Count	Item type
Head			
Forks Head	A100-125-101	1	Part
Plate Stop	A100-125-401	1	Part
Disc Prerorator	A100-125-1001	1	Part
Driven Gear	A100-125-901	1	Part
Bar Hub	A100-125-601	1	Part
Bush Bearing Upper	A100-125-701	1	Part
Bush Bearing Lower	A100-125-801	1	Part
Bush Teeter	A100-125-201	2	Part
Block Teeter	A100-125-301	1	Part
Torque Tube	A100-125-1101	1	Part
Rotor Shaft	B100-125-601	1	Part
Bolt 4 mm	AB-001A	4	Part
Bolt 8 mm	AB-002A	5	Part
Bolt 10 mm	AB-003A	1	Part
Komponen Atas			
Pivot Lateral	B100-125-101	1	Part
Fork Longitudinal	B100-125-102	2	Part
Fork - Lateral Rear	B100-125-103	1	Part
Fork - Lateral Front Stop	B100-125-104	1	Part
Bolt 4 mm	AB-001A	2	Part
Bolt 8 mm	AB-002A	5	Part
Bolt 10 mm	AB-003A	1	Part
Locking Pin	AB-100	1	Part

- *Securing method* merupakan data mengenai penanganan suatu komponen.

Tabel 4.17 *Securing method*

Part Name	Securing method	Part Name	Securing method
Head		Bolt 4 mm	Thread
Forks Head	Thread	Bolt 8 mm	Thread
Plate Stop	Thread	Bolt 10 mm	Thread
Disc Prerorator	Thread	Control Arm & Bendix Housing	
Driven Gear	Stake	Pivot Lateral	Thread
Bar Hub	Thread	Fork Longitudinal	Thread
Bush Bearing Upper	Thread	Fork - Lateral Rear	Thread
Bush Bearing Lower	Thread	Fork - Lateral Front Stop	Thread
Bush Teeter	Thread	Bolt 4 mm	Thread
Block Teeter	Thread	Bolt 8 mm	Thread
Torque Tube	Thread	Bolt 10 mm	Thread
Rotor Shaft	Push	Locking Pin	Snap

- *Minimum Part Criteriam* melibatkan data yang akan mendukung apakah komponen tersebut termasuk dalam kandidat yang dapat dieliminasi atau tidak dengan menggunakan tiga pertanyaan dasar dalam DFA, yakni sebagai berikut:

- 1) Apakah komponen tersebut memiliki pergerakan relative terhadap *part* lain yang telah dirakit sebelumnya?
- 2) Apakah material komponen tersebut harus berbeda dari material komponen lain?
- 3) Apakah komponen tersebut perlu dipisahkan dalam perakitan?

Apabila dari ketiga pertanyaan tersebut satu saja terjawab “ya”, maka komponen tersebut tidak dapat dieliminasi.

Tabel 4.18 *Minimum Part Criteria*

Part Name	Minimum Part Criteria	Part Name	Minimum Part Criteria
Head		Bolt 4 mm	Fasteners
Forks Head	Base Part	Bolt 8 mm	Fasteners
Plate Stop	Assembly	Bolt 10 mm	Fasteners
Disc Prerorator	Base Part	Control Arm & Bendix Housing	
Driven Gear	Base Part	Pivot Lateral	Base Part
Bar Hub	Base Part	Fork Longitudinal	Base Part
Bush Bearing Upper	Assembly	Fork - Lateral Rear	Base Part
Bush Bearing Lower	Assembly	Fork - Lateral Front Stop	Base Part
Bush Teeter	Assembly	Bolt 4 mm	Fasteners
Block Teeter	Base Part	Bolt 8 mm	Fasteners
Torque Tube	Base Part	Bolt 10 mm	Fasteners
Rotor Shaft	Assembly	Locking Pin	Connector

- *Envelope Dimension* merupakan data mengenai ukuran produk, yakni panjang, lebar dan tinggi. Berikut merupakan data dimensi *part* penyusun *rotor head*.

Tabel 4.19 *Envelope Dimension*

Part Name	Dimension (mm)		
	Length	Width	High
Head			
Forks Head	76,2	95,25	123,825
Plate Stop	76,2	127	6,35
Disc Prerorator	Diameter = 75,800		6,350
Driven Gear	Diameter = 85,800		6,350
Bar Hub	609,600	63,500	19,050
Bush Bearing Upper	41,275	Diameter = 18,653	
Bush Bearing Lower	41,275	Diameter = 31,353	
Bush Teeter	25,61	Diameter = 31,75	
Block Teeter	63,500	38,100	50,800
Torque Tube	31,750	311,50	31,750

Tabel 4.19 *Envelope Dimension*

Part Name	Dimension (mm)		
	Length	Width	High
Bolt 4 mm	25,4	Diameter = 4mm	
Bolt 8 mm	25,4	Diameter = 8mm	
Bolt 10 mm	25,4	Diameter = 10mm	
Control Arm & Bendix Housing			
Pivot Lateral	1,587	63,500	1,587
Fork Longitudinal	63,5	12,7	76,2
Fork - Lateral Rear	50,8	12,7	99,22
Fork - Lateral Front Stop	50,8	12,7	112,32
Bolt 4 mm	25,4	Diameter = 4mm	
Bolt 8 mm	25,4	Diameter = 8mm	
Bolt 10 mm	50,8	Diameter = 10mm	
Locking Pin	50,8	Diameter = 10mm	

- *Symmetry* merupakan data mengenai arah rotasi dilakukannya perakitan. Jika arah rotasi perakitan komponen 90° dari poros penyisipannya, maka disebut *Alpha symmetry*. Sedangkan jika arah rotasinya sejajar dengan porosnya disebut *Beta symmetry*.

Tabel 4.20 *Symmetry*

Part Name	Symmetry	Part Name	Symmetry
Head		Bolt 4 mm	one way - one way
Forks Head	one way - one way	Bolt 8 mm	one way - one way
Plate Stop	either way - either way	Bolt 10 mm	one way - one way
Disc Prerorator	either way - any way	Control Arm & Bendix Housing	
Driven Gear	either way - any way	Pivot Lateral	one way - either way
Bar Hub	either way - either way	Fork Longitudinal	one way - one way
Bush Bearing Upper	one way - anyway	Fork - Lateral Rear	one way - one way

Tabel 4.20 *Symmetry*(lanjutan)

Part Name	Symmetry	Part Name	Symmetry
Bush Bearing Lower	one way - any way	Fork - Lateral Front Stop	one way - one way
Bush Teeter	one way - one way	Bolt 4 mm	one way - one way
Block Teeter	one way - any way	Bolt 8 mm	one way - one way
Torque Tube	one way - one way	Bolt 10 mm	one way - one way
Rotor Shaft	any way – one way	Locking Pin	one way – one way

- *Handling difficulties* dan *Insertion Difficulties* *Handling difficulties* merupakan data tingkat kesulitan dalam memegang komponen pada saat perakitan. Sedangkan *Insertion difficulties* merupakan kesulitan dalam penyisipan komponen saat perakitan.

Tabel 4.21 *Handling Difficulties* dan *Insertion Difficulties*

Part Name	Handling Difficulties	Insertion Diff.
Head		
Forks Head	-	-
Plate Stop	-	Access
Disc Prerorator	-	-
Driven Gear	-	-
Bar Hub	-	Access
Bush Bearing Upper	-	-
Bush Bearing Lower	-	-
Bush Teeter	-	-
Block Teeter	-	-
Torque Tube	Nest Tangle	-
Rotor Shaft	-	Resist
Bolt 4 mm	Difficult Grasp	Access
Bolt 8 mm	Difficult Grasp	Access
Bolt 10 mm	Difficult Grasp	Access
Control Arm & Bendix Housing		
Pivot Lateral	-	-
Fork Longitudinal	-	-

Tabel 4.21 *Handling Difficulties* dan *Insertion Difficulties*

Part Name	Handling Difficulties	Insertion Diff.
Fork - Lateral Rear	-	-
Fork - Lateral Front Stop	-	-
Bolt 4 mm	Difficult Grasp	Access
Bolt 8 mm	Difficult Grasp	Access
Bolt 10 mm	Difficult Grasp	Access
Locking Pin	-	-

- *Manufacturing data* adalah data mengenai *piece part cost*, *item cost per item* dan *tooling investment*.

Tabel 4.22 *Manufacturing Data*

Part Name	Manufacturing Data			
	Piece part cost	Item cost per item	Tooling Investment	Weight per item
<i>Head</i>				
Forks Head	4,50	13,50	9	1800
Plate Stop	0,79	3,79	3	394
Disc Prerorator	2,60	5,60	3	2000
Driven Gear	3,00	3,00	0	806
Bar Hub	14,45	17,45	3	5723
Bush Bearing Upper	0,22	5,22	5	104
Bush Bearing Lower	0,48	5,48	5	236
Bush Teeter	0,20	6,20	6	101
Block Teeter	0,59	9,59	9	296
Torque Tube	3,98	8,98	5	1989
Rotor Shaft	0,78	5,78	5	300
Bolt 4 mm	0,23	0,23	0	5
Bolt 8 mm	0,45	0,45	0	7
Bolt 10 mm	0,48	0,48	0	7,5
Pivot Lateral	0,65	7,65	7	340
Fork Longitudinal	0,62	9,62	9	504
Fork - Lateral Rear	0,53	4,53	4	453
Fork - Lateral Front Stop	0,53	4,53	4	460
Bolt 4 mm	0,23	0,23	0	5

Tabel 4.22 *Manufacturing Data* (lanjutan)

Part Name	Manufacturing Data			
	Piece part cost	Item cost per item	Tooling Investment	Weight per item
<i>Control Arm & Bendix Housing</i>				
Bolt 8 mm	0,45	0,45	0	7
Bolt 10 mm	0,48	0,48	0	7,5
Locking Pin	0,50	0,50	0	

3. *Add Operation*

Setelah memasukkan data keseluruhan komponen penyusun produk, langkah selanjutnya adalah menambahkan operasi pada komponen tersebut. Dalam perakitan *rotor head* ini terdapat dua operasi yakni, operasi *threaded fastening* dan *inspection*

4.5.2 Hasil *Running Software*

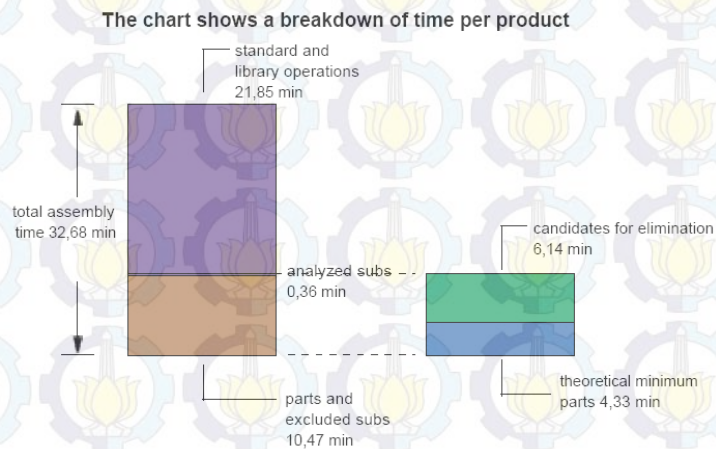
Dari hasil *input* data menggunakan *software* DFA, didapatkan *output* data mengenai total *entries*, waktu kerja dan biaya tenaga kerja. Selain itu, terdapat diagram yang menjabarkan kebutuhan waktu selama perakitan produk *rotor head* menggunakan desain perbaikan.

Tabel 4.23 Analisis Total DFA

Per Product data	Entries (including repeats)	Labor Time, min	Labor Cost, \$
Component parts	36	10,47	0,08
Subassemblies partially or fully analyzed	4	0,36	0,00
Subassemblies not to be analyzed (excluded)	0	0,00	0,00
Standard and library operations	34	21,85	0,18
Totals	74	32,68	0,26

Tabel 4.23 di atas menunjukkan total *entries* komponen penyusun (*part* dan *subassembly*) sebanyak 36 unit, untuk waktu pengerjaan selama 32,68 menit atau

2832 detik dan biaya tenaga kerja sebesar \$ 0,26. Untuk detail kebutuhan waktunya ditunjukkan dalam Gambar 4.15 di bawah ini.



Gambar 4.15 Kebutuhan Waktu Perakitan Desain Perbaikan

Dari Gambar 4.15 tersebut dapat diketahui bahwa total waktu perakitan dilakukan selama 32,68 menit. *Standard and library operations* membutuhkan waktu selama 21,85 menit atau 66,86%. Sedangkan untuk perakitan komponen seperti *insertion* membutuhkan waktu 6,14 menit. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa terdapat selisih antara waktu perakitan desain perakitan dengan desain awal.

4.5.2 Waktu, Biaya Perakitan dan *Assembly Efficiency* Desain Perbaikan

Seperti pada pengolahan data desain awal, berikut akan dijelaskan mengenai rekap data waktu operasi perakitan komponen desain perbaikan. Waktu operasi perakitan didapatkan dari pengolahan data menggunakan *software* DFA.

Tabel 4.24 Waktu dan Biaya Tenaga Kerja Proses Perakitan Desain Perbaikan

Per product data

	Entries (including repeats)	Number of different parts	Total time, min	Labor cost, \$	Item costs (including tooling), \$	Weight, g
Parts	36	22	10,47	0,08	127,87	15362,00
Subassemblies:						
Partially or fully analyzed	4	4	0,36	0,00	0,00	0,00
Named only	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Excluded	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Operations:						
Standard	20	3	6,73	0,05	-	-
Library	14	1	15,12	0,12	-	0,00
Column Totals	74	30	32,68	0,26	* 127,87	** 15362,00

Cost totals based on a product life volume of 10.000

	Labor cost, \$	Other operation cost, \$	Manuf. piece part cost, \$	Total cost without tooling, \$	Assy. tool or fixture cost, \$	Manuf. tooling cost, \$	Total cost, \$
Cost per product	0,26	0,00	43,87	128,13	0,00	0,01	128,13
Production life cost	2.627	0	438.700	1.281.259	0	72	1.281.332

*Note: Manufacturing piece part costs not given for some items. Total cost may be incomplete.

**Note: Weight not given for some items. Total weight may be incomplete.

Perhitungan *assembly efficiency* dari desain awal adalah sebagai berikut:

$$Em = \frac{Nm \times ta \times 100}{tma}$$

Keterangan:

E_{ma} = *Assembly Efficiency* untuk perakitan manual

$$Em = \frac{14 \times 3 \times 100}{32,68 \times 60}$$

N_{min} = Jumlah *part* minimum secara teori

t_{ma} = Total waktu perakitan (menit)

$$Em = 2,14$$

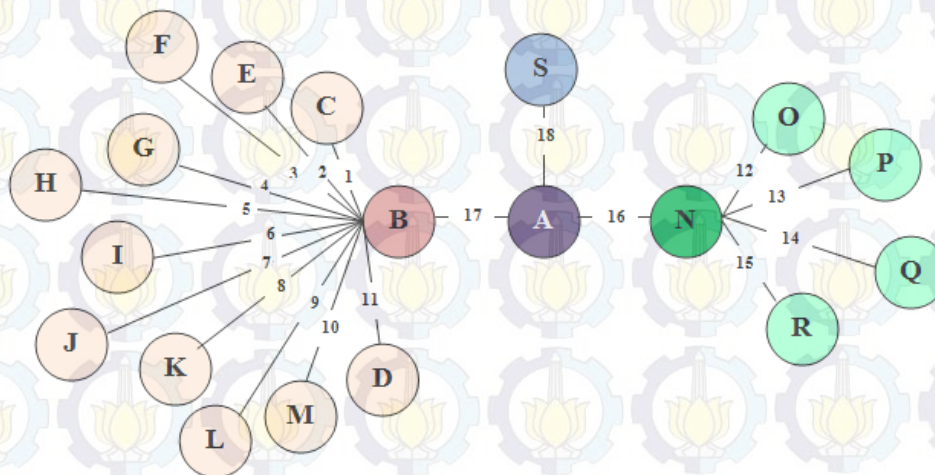
t_a = Waktu perakitan ideal untuk satu komponen (3 detik)

4.6 Assembly Sequence

Assembly Sequence merupakan urutan proses dalam perakitan komponen hingga menjadi sebuah produk. *Assembly sequence* tersebut dapat dibuat menggunakan *liaison diagram*, yaitu diagram yang menunjukkan hubungan antara dua komponen. Berikut komponen penyusun dalam *liason diagram*. Sebelumnya, berikut merupakan tahapan perakitan yang dapat diterapkan pada desain perbaikan.

Tabel 4.25 Komponen Utama Penyusun *Rotor Head* untuk *Assembly Sequence*

Huruf	Part Name
A	<i>Rotor Head</i>
B	<i>Head</i>
C	Forks Head
D	Plate Stop
E	Disc Prerorator
F	Driven Gear
G	Bar Hub
H	Bush Bearing Upper
I	Bush Bearing Lower
J	Bush Teeter
K	Block Teeter
L	Torque Tube
M	Rotor Shaft
N	<i>Control Arm & Bendix Housing</i>
O	Pivot Lateral
P	Fork Longitudinal
Q	Fork - Lateral Rear
R	Fork - Lateral Front Stop
S	Locking Pin



Gambar 4.16 *Liasion Diagram Rotor Head*

Tahap selanjutnya adalah menerapkan metode Winnoming untuk memilih proses perakitan terbaik. Metode Winnoming ini digunakan dengan menentukan *liasion* mana yang mendahului *liasion* tersebut (*predecessor*).

Tabel 4.26 *Presedence Constraint*

Liasion	Presedence	Liasion	Presedence
A	S	K	K
B	C, D, E, F, G, H, I, J, K, L	L	M
C	-	M	I
D	C	N	O, P, Q, R
E	D	O	-
F	E	P	O
G	K	Q	P
H	F	R	P
I	F	S	B, N
J	I		

Tabel 4.27 Tahapan Perakitan

No	Tahapan
Tahap Perakitan Komponen Atas	
1	<i>Single Block</i> dipegang menggunakan dua tangan, kemudian dibalik. <i>Disc Brake</i> dan <i>Driven Gear</i> dipasang kemudian dibaut.
2	<i>Bush Bearing Lower</i> dipasangkan ke lubang <i>Disc Brake</i> hingga menembus <i>Plate Stop</i> .
3	<i>Rotor Shaft</i> dimasukkan ke lubang <i>Bush Bearing Lower</i> .
4	<i>Head</i> dibalik lagi kemudian dipasangkan <i>Plate Stop</i> dan <i>Bush Bearing Upper</i>
5	<i>Rotor Shaft</i> dikencangkan di bagian <i>Plate Stop</i> .
6	Satu <i>Control Arm</i> dipegang menggunakan tangan kanan digabung dengan <i>Pivot Lateral</i> . Dirakit menggunakan dua buah baut.

Tabel 4.27 Tahapan Perakitan

No	Tahapan
7	<i>Control Arm</i> pertama yang sudah dirakit dengan <i>Pivot Lateral</i> tersebut dipegang menggunakan tangan kiri. Tangan kanan mengambil <i>Control Arm</i> lain kemudian merakitnya dengan komponen di tangan kiri. Pada saat ini mur dikencangkan.
8	<i>Bendix Housing</i> kanan dipasang ke <i>Pivot Lateral</i> dengan dilapisi
9	<i>Bendix Housing</i> kiri dipasang ke <i>Pivot Lateral</i>
10	Pemasangan <i>Torque Tube</i> dengan <i>Control Arms</i>
11	Penyatuan Komponen Bawah dengan Komponen Atas
12	Pemasangan <i>Locking Pin</i> untuk merakit komponen atas dan bawah secara permanen
13	<i>Block Teeter</i> dipasang di bagian atas <i>Head (Forks)</i> yang sudah dirakit), menggunakan sebuah baut. <i>Block Teeter</i> ini nantinya akan dihubungkan ke <i>Rotor Hub</i> .
14	Pemasangan <i>Rotor Hub</i>

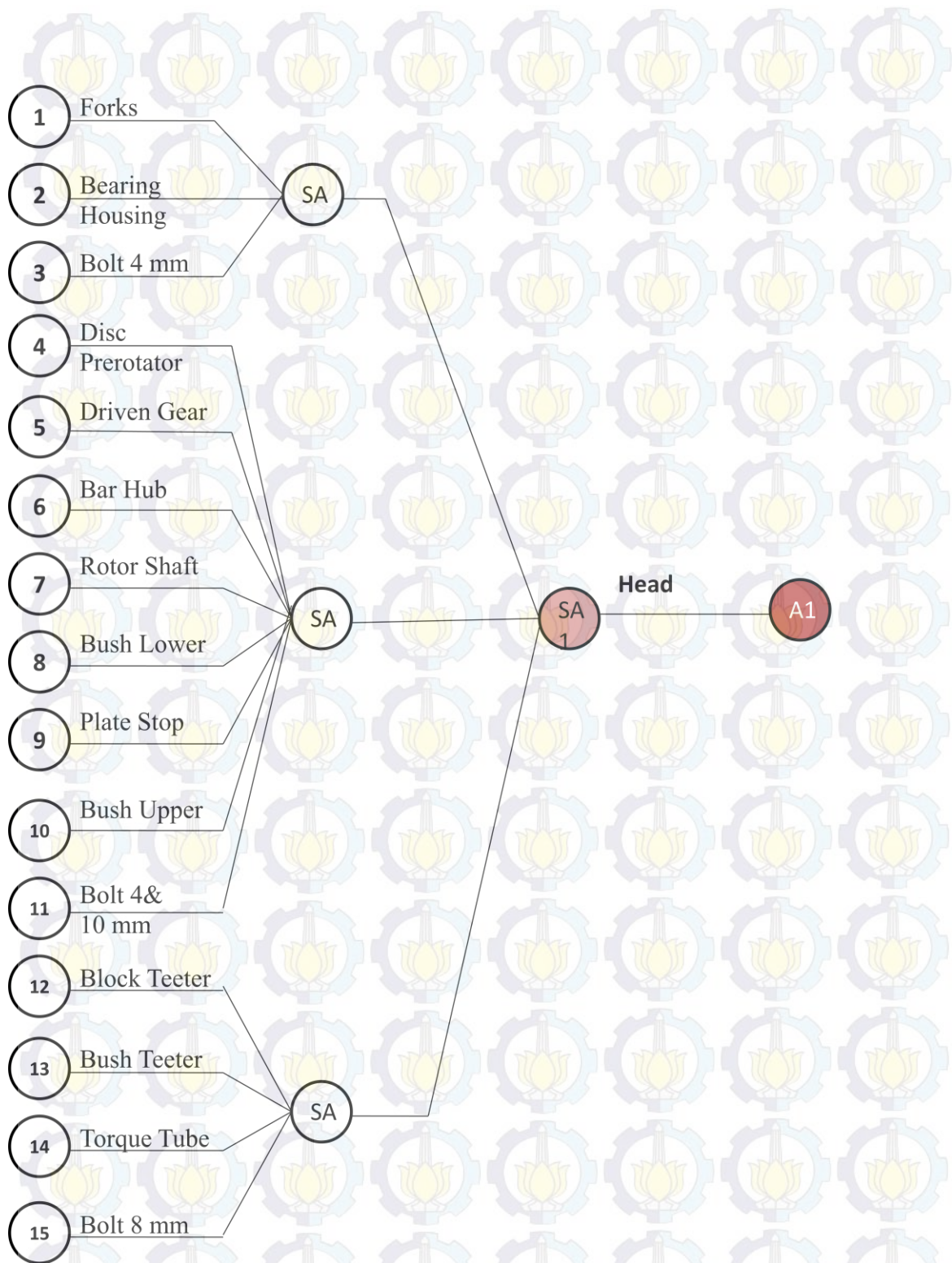
Total waktu untuk proses perakitan *Rotor Head* adalah 2582 detik atau lebih dari 43 menit. Sekaligus inspeksi, total waktu yang dibutuhkan rata-rata 50 menit untuk menghasilkan satu unit *Rotor Head*.

4.7 Operator Process Chart

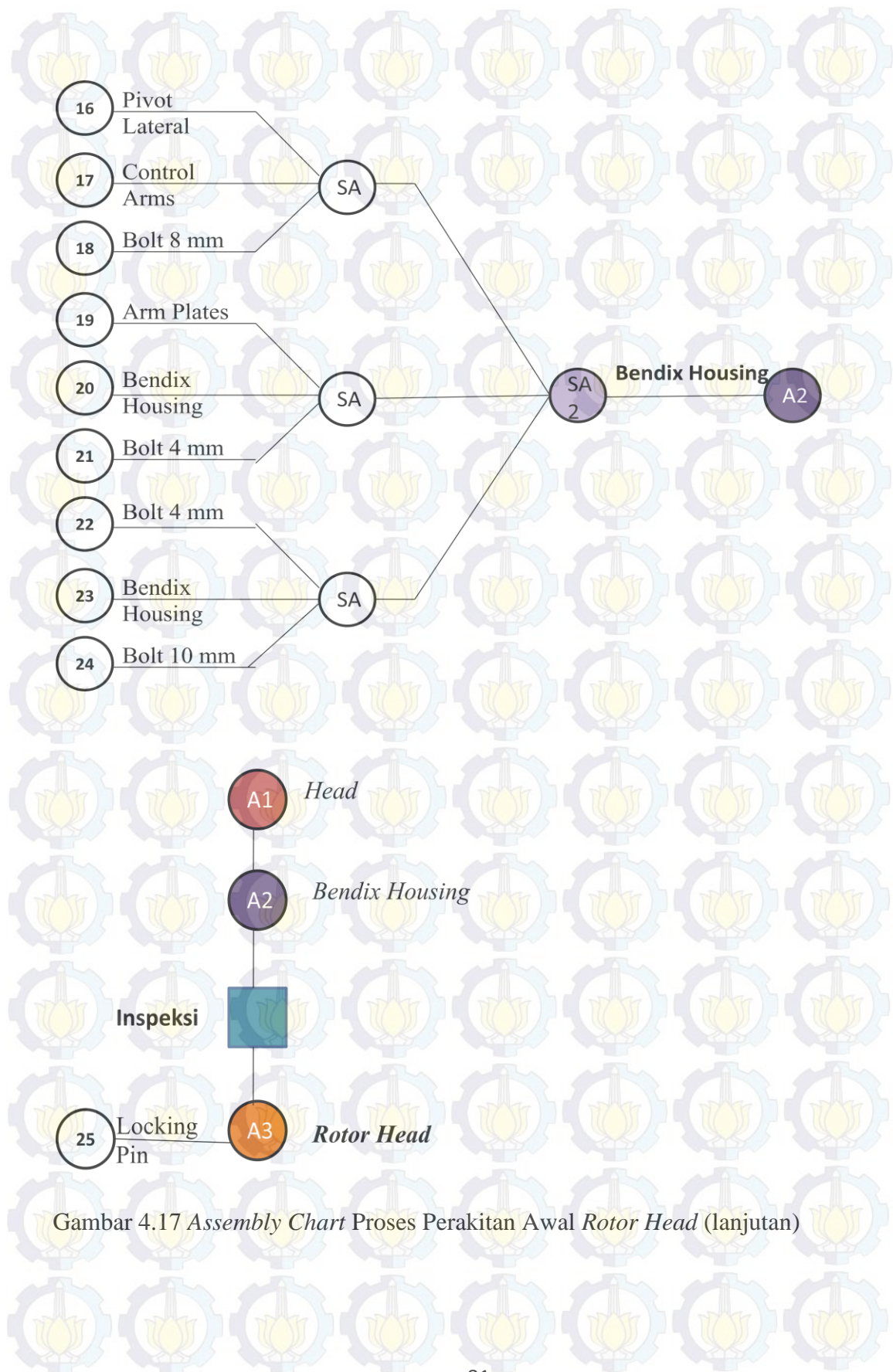
Operator Process Chart atau Peta Tangan Kiri dan Tangan Kanan merupakan sebuah peta kerja setempat untuk menganalisa gerakan tangan manusia dalam melakukan pekerjaan secara manual. Sebelumnya akan ditunjukkan *assembly chart* untuk memudahkan dalam menunjukkan tahapan perakitan.

4.7.1 Operator Process Chart Perakitan Awal

Untuk mengetahui proses kerja perakitan awal, berikut merupakan peta kerja setempat untuk menganalisa gerakan yang terjadi selama perakitan berlangsung. Kondisi awal *layout* kerja perakitan adalah komponen yang tertata secara tidak berurutan.



Gambar 4.17 Assembly Chart Proses Perakitan Awal Rotor Head



Tabel 4.28 Peta Tangan Kiri dan Tangan Kanan Perakitan Awal

Peta Tangan Kiri dan Tangan Kanan									
PEKERJAAN		: Merakit Rotor Head Gyroplane							
DIPETAKAN OLEH		: Holly Aphrodita							
TANGGAL DIPETAKAN		: 20 Juni 2015							
<div><div><p>Operator</p><p>Perakitan Komponen Atas</p><p>Perakitan Komponen Bawah</p></div><div><p>Block Teeter</p><p>Bush Teeter</p><p>Fork</p><p>Daven Gear</p><p>Disc Brake</p><p>Control Arms</p><p>Bendix Housing</p><p>Pivot Lateral</p><p>Arm Plate</p><p>Torque Tube</p><p>Bearing Housing</p><p>Plate Stop</p></div></div>									
Tangan Kiri		Jarak (cm)	Waktu (detik)		Lambang		Waktu (detik)	Jarak (cm)	Tangan Kanan
Menjangkau, memegang, dan membawa baut 4mm		45	15		Re, G, M	Re, G, M	70	40	Menjangkau, memegang, dan membawa <i>fork</i>
Memasangkan baut ke <i>fork</i>		-	80		RL	G	75	-	Memegang <i>fork</i>
Memegang <i>fork</i>		-	253		G	Re, G, M	65	15	Menjangkau, memegang, dan membawa <i>bearing housing</i>
						RI	10	-	Melepas <i>bearing housing</i> ke <i>fork</i>
						Re, G, M	75	40	Menjangkau, memegang, dan membawa <i>fork</i> kedua
						P, RL	43	-	Mengarahkan dan melepas <i>fork</i> ke <i>bearing housing</i>

Tabel 4.28 Peta Tangan Kiri dan Tangan Kanan Perakitan Awal (lanjutan)

Tangan Kiri	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Lambang		Waktu (detik)	Jarak (cm)	Tangan Kanan
Menjangkau, memegang dan membawa mur	45	28	Re, G, M	Re, G, M	45	70	Menjangkau, memegang dan membawa kunci inggris
Mengarahkan mur ke tangan kanan	10	5	P	G, P	20	-	Memegang mur + kunci inggris, mengarahkan mur ke ujung baut
Memegang <i>fork</i>	-	160	G	U	120	-	Menggunakan kunci untuk mengencangkan mur
				RL	5	-	Melepas kunci inggris
				G	3	-	Memegang <i>head</i>
Memutar <i>head</i> 90°	-	5	P	P	5	-	Memutar <i>head</i> 90°
Memegang <i>head</i>	-	764	G	Re, G, M	64	20	Menjangkau, memegang dan membawa <i>disc brake</i>
				RL	25	-	Melepas <i>disc brake</i> di bagian atas <i>head</i> (posisi sesungguhnya bagian bawah)
				Re, G, M	65	20	Menjangkau, memegang dan membawa <i>driven gear</i>
				RL	300	-	Memasang <i>driven gear</i> ke <i>disc brake</i>
				Re, G, M	65	65	Menjangkau, memegang dan membawa <i>rotor shaft</i>
				RL	45	-	Memasang <i>rotor shaft</i>
				Re, G, M	60	70	Menjangkau, memegang dan membawa <i>torque tube</i>

Tabel 4.28 Peta Tangan Kiri dan Tangan Kanan Perakitan Awal (lanjutan)

Tangan Kiri	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Lambang		Waktu (detik)	Jarak (cm)	Tangan Kanan
				RL	55	-	Melepas <i>torque tube</i> dari bagian atas <i>head</i> (posisi sesungguhnya bagian bawah)
				Re, G, M	40	65	Menjangkau, memegang dan membawa baut
				RL	45	-	Memasangkan baut ke <i>torque tube</i> hingga <i>bearing housing</i>
Memutar <i>head</i> 90°	-	5	P	P	5	-	Memutar <i>head</i> 90°
Menjangkau, memegang dan membawa <i>Plate Stop</i>	15	63	Re, G, M	G	143	-	Memegang <i>torque tube</i> dan baut
Melepas dan memasang <i>Plate Stop</i>	-	15	RL				
Menjangkau, memegang, dan membawa baut 4 mm ke tangan kanan	40	65	Re, G, M				
Memegang <i>torque tube</i> dan baut	-	366	G	G, RL	120	-	Memegang dan memasang baut ke <i>Plate Stop</i>
				Re, G, M	45	65	Menjangkau, memegang dan membawa mur
				RL	80	-	Memasang mur pada baut
				Re, G, M	1	-	Memegang kunci inggris
				RL	120	-	Mengencangkan mur
Memegang <i>head</i>	-	747	G	RL	2	-	Melepaskan kunci

Tabel 4.28 Peta Tangan Kiri dan Tangan Kanan Perakitan Awal (lanjutan)

Tangan Kiri	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Lambang	Waktu (detik)	Jarak (cm)	Tangan Kanan
			Re, G, M	40	55	Menjangkau, memegang dan membawa <i>bush teeter</i>
			RL	75	-	Memasang <i>bush teeter</i>
			Re, G, M	40	55	Menjangkau, memegang dan membawa <i>block teeter</i>
			RL	70	-	Memasang <i>block teeter</i>
			Re, G, M	25	65	Menjangkau, memegang dan membawa baut
			RL	70	-	Memasang baut
			Re, G, M	25	65	Menjangkau, memegang dan membawa mur
			RL	60	-	Memasang mur
			G	1	-	Memegang kunci inggris
			U	20	-	Mengencangkan mur
			Re, G, M	25	65	Menjangkau, memegang dan membawa baut 4 mm
			RL	120	-	Memasang baut
			Re, G, M	35	60	Menjangkau, memegang dan membawa <i>hub bar</i>
			RL	75	-	Memasang <i>hub bar</i>
			Re, G, M	24	65	Menjangkau, memegang dan membawa mur
			U	40	-	Mengencangkan mur

Tabel 4.28 Peta Tangan Kiri dan Tangan Kanan Perakitan Awal (lanjutan)

Tangan Kiri	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Lambang		Waktu (detik)	Jarak (cm)	Tangan Kanan
Meletakkan <i>head</i>	-	5	RL	RL	5	20	Meletakkan <i>head</i>
Menjangkau, memegang dan membawa <i>pivot lateral</i>	55	35	Re, G, M	Re, G, M	50	90	Menjangkau, memegang dan membawa <i>arm plates</i> dan <i>bendix housing</i>
Menjangkau, memegang dan membawa <i>arm plates</i> dan <i>bendix housing</i>	70	45	RL	RL	110	-	Memasang <i>arm plates</i> dan <i>bendix housing</i> pada <i>pivot lateral</i>
Memasang <i>arm plates</i> dan <i>bendix housing</i> pada <i>pivot lateral</i>	-	100	Re, G, M	G	48	-	Memegang <i>bendix housing</i>
Menjangkau, memegang dan membawa baut	35	28	Re, G, M				
Memasang baut	-	20	RL	Re, G, M	24	65	Menjangkau, memegang dan membawa mur
Memegang <i>bendix housing</i>	-	109	G	RL	32	-	Memasang mur
				G	1	-	Memegang kunci inggris
				U	20	-	Mengencangkan mur
				Re, G, M	52	90	Menjangkau, memegang dan membawa <i>bendix housing</i>
Menjangkau, memegang dan membawa <i>bendix housing</i>	80	55	Re, G, M	RL	102	-	Memasang <i>bendix housing</i>
Memasang <i>bendix housing</i>	-	115	RL	G	42	-	Memegang <i>bendix housing</i>

Tabel 4.28 Peta Tangan Kiri dan Tangan Kanan Perakitan Awal (lanjutan)

Tangan Kiri	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Lambang		Waktu (detik)	Jarak (cm)	Tangan Kanan
Memegang <i>bendix housing</i>	-	208	G	Re, G, M	35	65	Menjangkau, memegang dan membawa baut
				RL	25	-	Memasang baut
				Re, G, M	28	55	Menjangkau, memegang dan membawa mur
				RL	24	-	Memasang mur
				G	1	-	Memegang kunci inggris
				U	30	-	Mengencangkan mur
				Re, G, M	65	80	Menjangkau, memegang dan membawa <i>control arm</i>
Menjangkau, memegang dan membawa baut	35	28	Re, G, M	RL	52	-	Memegang <i>control arm</i>
Memasang baut	-	24	RL				
Memegang <i>control arm</i>	-	167	G	RL	63	-	Memasang <i>control arm</i>
				Re, G, M	28	65	Menjangkau, memegang dan membawa mur
				RL	30	-	Memasang mur
				G	1	-	Memegang kunci inggris
				U	30	-	Mengencangkan mur
				Re, G, M	15	20	Menjangkau, memegang dan membawa <i>head</i>

Tabel 4.28 Peta Tangan Kiri dan Tangan Kanan Perakitan Awal (lanjutan)

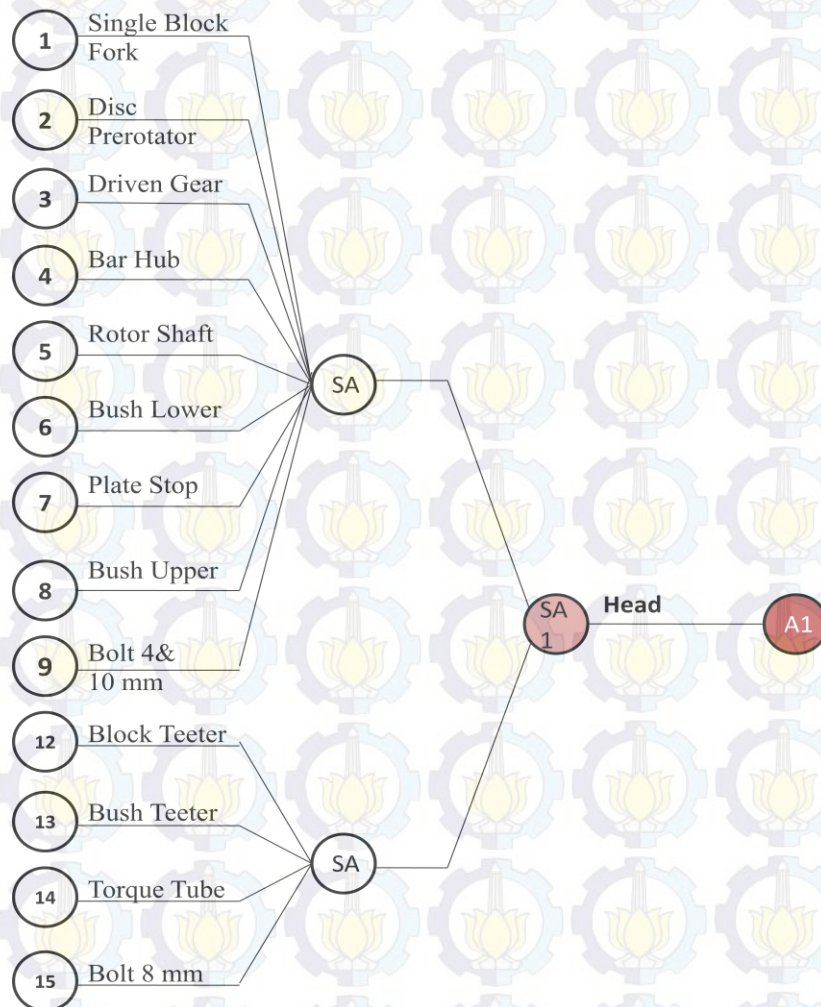
Tangan Kiri	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Lambang		Waktu (detik)	Jarak (cm)	Tangan Kanan
Memegang dan memasang <i>head</i> ke <i>bendix housing</i>	-	45	G, RL	Re, G, M	45	65	Menjangkau, memegang dan membawa <i>locking pin</i>
Memasang <i>locking pin</i>	-	25	RL	RL	25	-	Memasang <i>locking pin</i>
Total	485	3669	-	-	3669		
Ringkasan							
Waktu tiap siklus		3669 detik					
Jumlah Produk tiap siklus		1 unit					
Waktu membuat satu produk		3669 detik					

Dari Tabel Peta Tangan Kiri dan Tangan Kanan tersebut menunjukkan bahwa perakitan satu unit *rotor head* membutuhkan waktu 3669 detik atau 62,2 menit. Dari peta tersebut terlihat bahwa terjadi ketidakseimbangan antara gerak tangan kiri dan tangan kanan operator selama proses merakit. Hal tersebut ditunjukkan oleh jumlah tangan kiri melakukan aktivitas memegang selama 2.819 detik atau sekitar 76,83% dari total waktu perakitan. Angka tersebut sangat tinggi karena tangan kanan melakukan gerakan yang sangat banyak, waktu yang dihabiskan untuk melakukan aktivitas perakitan mencapai 90,11% dari total keseluruhan waktu perakitan.

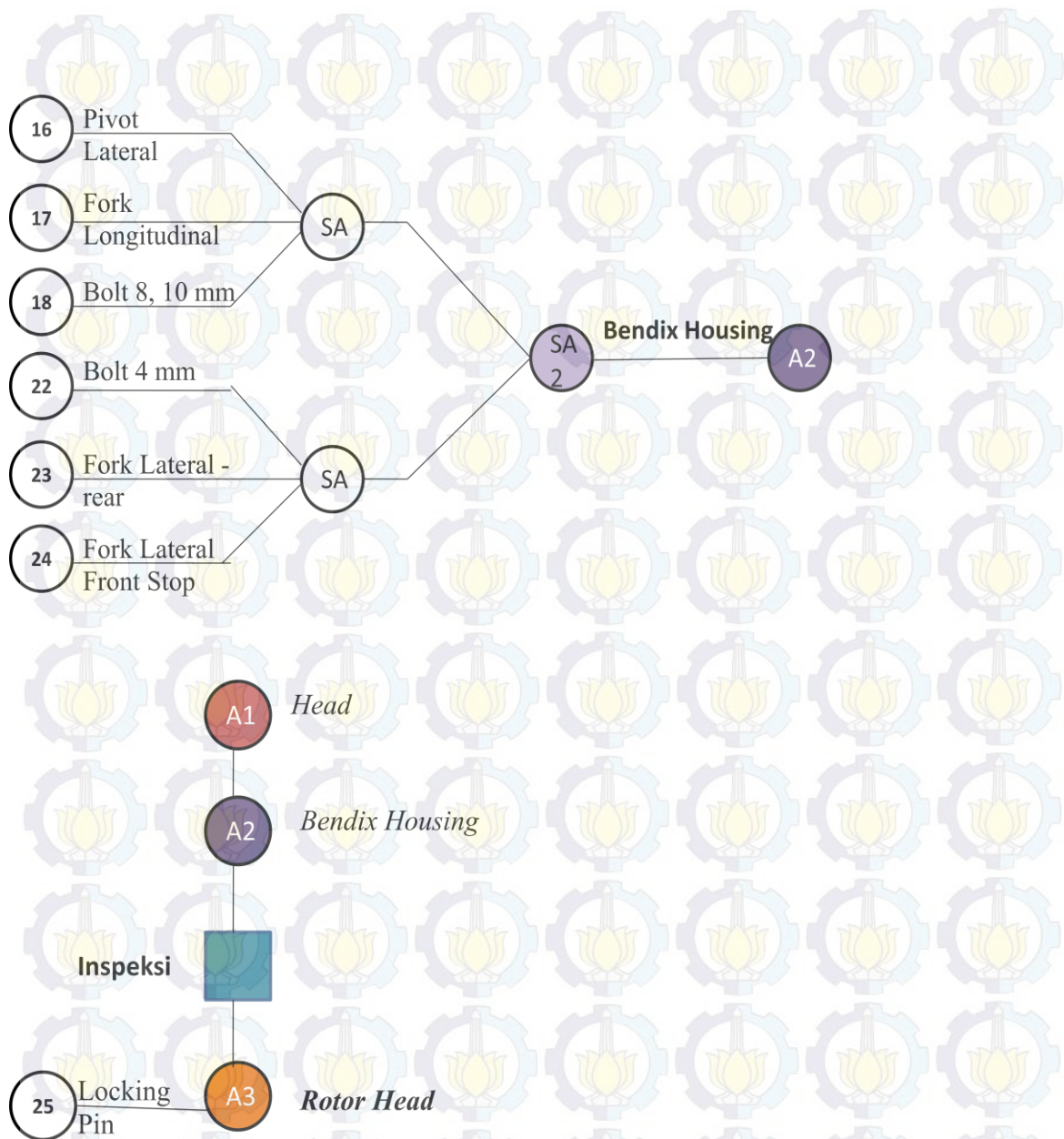
Terdapat selisih antara total waktu perakitan aktual yang ditunjukkan pada peta kerja dengan hasil perhitungan DFA yang dilakukan. Di mana untuk hasil perhitungan DFA adalah 47,20 menit untuk merakit satu unit produk, sedangkan kondisi aktual menunjukkan waktu yang dibutuhkan 62,20 menit untuk merakit per produknya. Selisih tersebut disebabkan adanya gerakan yang kurang efisien, tata letak sistem kerja dan tidak digunakannya alat bantu untuk memegang produk selama perakitan sehingga mengharuskan menggunakan tangan.

4.7.2 Operator Process Chart Perbaikan

Peta tangan kiri dan tangan kanan kondisi eksisting menunjukkan bahwa pembagian tugas tidak seimbang. Dari *layout* eksisting tersebut tampak bahwa banyak pekerjaan di sisi kiri operator yang dilakukan oleh tangan kanan. Pengambilan komponen yang terletak di sisi kiri operator dengan menggunakan tangan kanan misalnya. Hal tersebut selain menghabiskan waktu lebih banyak juga menyulitkan proses perakitan yang dilakukan. Oleh karena itu, diperlukan perbaikan operasi perakitan dan *layout* agar proses perakitan berjalan efisien. Sebelumnya, *layout* perbaikan ini ditujukan untuk perakitan desain perbaikan. Berikut *assembly chart* untuk desain perbaikan.



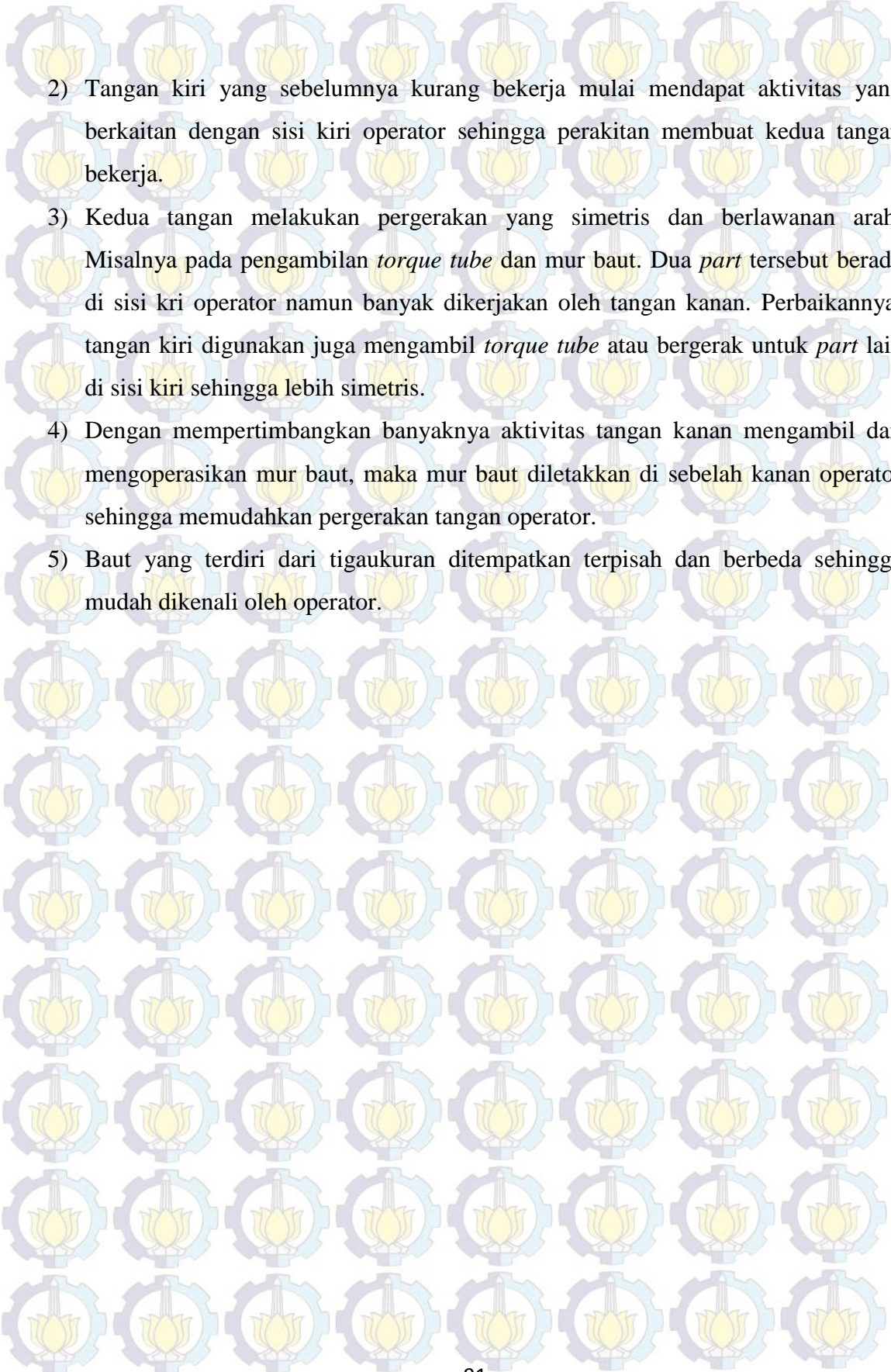
Gambar 4.18 *Assembly Chart* Perakitan Desain Perbaikan



Gambar 4.18 Assembly Chart Perakitan Desain Perbaikan (lanjutan)

Berikut merupakan beberapa alternatif perbaikan yang memungkinkan untuk diterapkan:

- 1) Penggunaan *jig* dan *fixture* sebagai alat bantu penyangga produk ketika sedang dirakit sehingga kedua tangan bebas beraktivitas.

- 
- 2) Tangan kiri yang sebelumnya kurang bekerja mulai mendapat aktivitas yang berkaitan dengan sisi kiri operator sehingga perakitan membuat kedua tangan bekerja.
 - 3) Kedua tangan melakukan pergerakan yang simetris dan berlawanan arah. Misalnya pada pengambilan *torque tube* dan mur baut. Dua *part* tersebut berada di sisi kiri operator namun banyak dikerjakan oleh tangan kanan. Perbaikannya, tangan kiri digunakan juga mengambil *torque tube* atau bergerak untuk *part* lain di sisi kiri sehingga lebih simetris.
 - 4) Dengan mempertimbangkan banyaknya aktivitas tangan kanan mengambil dan mengoperasikan mur baut, maka mur baut diletakkan di sebelah kanan operator sehingga memudahkan pergerakan tangan operator.
 - 5) Baut yang terdiri dari tigaukuran ditempatkan terpisah dan berbeda sehingga mudah dikenali oleh operator.

Tabel 4.29 Peta Tangan Kiri dan Tangan Kanan Perbaikan

Peta Tangan Kiri dan Tangan Kanan								
PEKERJAAN: Merakit Rotor Head Gyroplane								
DIPETAKAN OLEH : Holly Aphrodita								
TANGGAL DIPETAKAN : 19 Juni 2015								
Tangan Kiri		Jarak (cm)	Waktu (detik)	Lambang		Waktu (detik)	Jarak (cm)	Tangan Kanan
Memutar head 180 ⁰		-	5	P	P	5	-	Memutar head 180 ⁰
Memegang head			310	G	Re, G, M	10		Menjangkau, memegang dan membawa disc brake
Menjangkau, memegang dan membawa driven gear			10	Re, G, M	RL	300		Memasang driven gear ke disc brake
Menjangkau, memegang dan membawa torque tube			10	Re, G, M	Re, G, M	10		Menjangkau, memegang dan membawa rotor shaft
Melepas torque tube di bagian atas head (posisi sesungguhnya bagian bawah)			10	RL	RL	60		Memasang rotor shaft
Memegang torque tube			290	G	Re, G, M	10		Menjangkau, memegang dan membawa baut

Tabel4.29 Peta Tangan Kiri dan Tangan Kanan Perbaikan (lanjutan)

Tangan Kiri	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Lambang		Waktu (detik)	Jarak (cm)	Tangan Kanan
				RL	240		Memasang baut ke <i>torque tube</i> hingga <i>single block fork</i>
Memutar <i>head</i> 180°		8	P	P	8		Memutar <i>head</i> 180°
Menjangkau, memegang dan membawa <i>Plate Stop</i>		10	Re, G, M	Re, G, M	60		Menjangkau, memegang, dan membawa mur
Melepas dan memasang <i>Plate Stop</i>		60	RL				
				RL	60		Memasang mur pada baut
Menjangkau, memegang dan membawa <i>bush teeter</i>		10	Re, G, M	Re, G, M	1		Memegang kunci inggris
Memasang <i>bush teeter</i>		60	RL	RL	80		Mengencangkan mur
Menjangkau, memegang dan membawa mur		10	Re, G, M	RL	1		Melepaskan kunci
Memasang mur		60	RL	Re, G, M	10		Menjangkau, memegang dan membawa <i>block teeter</i>
Memegang <i>block teeter</i>		112	G	RL	60		Memasang <i>block teeter</i>
				Re, G, M	10		Menjangkau, memegang dan membawa baut
Menjangkau, memegang dan membawa baut		10	Re, G, M	RL	60		Memasang baut
				G	1		Memegang kunci inggris
				U	60		Mengencangkan mur
				Re, G, M	10		Menjangkau, memegang dan membawa baut 4 mm
				RL	20		Memasang baut

Tabel 4.29Peta Tangan Kiri dan Tangan Kanan Perbaikan (lanjutan)

Tangan Kiri	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Lambang		Waktu (detik)	Jarak (cm)	Tangan Kanan
				Re, G, M	20		Menjangkau, memegang dan membawa <i>hub bar</i>
Menjangkau, memegang dan membawa mur		10	Re, G, M	RL	60		Memasang <i>hub bar</i>
Mengencangkan mur		50	U	Re, G, M			
Meletakkan <i>head</i>		5	RL	RL	5		Meletakkan <i>head</i>
Menjangkau, memegang dan membawa <i>pivot lateral</i>		10	Re, G, M	Re, G, M	10		Menjangkau, memegang dan membawa <i>forks</i>
				Re, G, M	10		Menjangkau, memegang dan membawa baut
Menjangkau, memegang dan membawa <i>forks</i>		10	Re, G, M	RL	120		Memasang baut
Memasang <i>forks</i>		239	RL	Re, G, M	10		Menjangkau, memegang dan membawa mur
				RL	108		Memasang mur
				G	1		Memegang kunci inggris
Menjangkau, memegang dan membawa <i>fork-lateral front stop</i>		10	Re, G, M	U	60		Mengencangkan mur
Memasang <i>fork-lateral front stop</i>		60	RL	Re, G, M	10		Menjangkau, memegang dan membawa <i>fork-lateral rear</i>
				RL	60		Memasang <i>fork-lateral rear</i>
				Re, G, M	10		Menjangkau, memegang dan membawa baut
Menjangkau, memegang dan membawa mur		10	Re, G, M	RL	60		Memasang baut
Memasang mur		61	RL				

Tabel 4.29Peta Tangan Kiri dan Tangan Kanan Perbaikan (lanjutan)

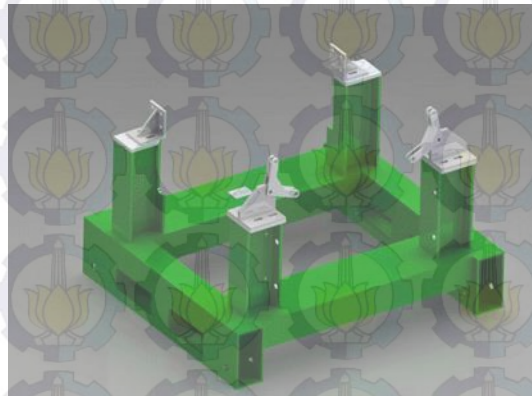
Tangan Kiri	Jarak (cm)	Waktu (detik)	Lambang		Waktu (detik)	Jarak (cm)	Tangan Kanan
Menjangkau, memegang dan membawa <i>control arm</i>		10	Re, G, M	G	1		Memegang kunci inggris
Memasang <i>control arm</i>		60	RL	U	60		Mengencangkan mur
Memasang <i>control arm</i>		60	RL	Re, G, M	10		Menjangkau, memegang dan membawa baut
Memegang <i>control arm</i>		150	G	RL	60		Memasang baut
				G	10		Memegang <i>control arm</i>
				Re, G, M	10		Menjangkau, memegang dan membawa mur
				RL	60		Memasang mur
Menjangkau, memegang dan membawa <i>head</i>		11	Re, G, M	G	1		Memegang kunci inggris
				U	60		Mengencangkan mur
Memegang dan memasangkan <i>head</i> ke <i>bendix housing</i>		60	G, RL	Re, G, M	10		Menjangkau, memegang dan membawa <i>locking pin</i>
Memasang <i>locking pin</i>	-	60	RL	RL	60		Memasang <i>locking pin</i>
Total		1872	-	-	1872		
Ringkasan							
Waktu tiap siklus				1872			
Jumlah Produk tiap siklus				1 unit			
Waktu membuat satu produk				1872			

Dari Tabel 4.29Peta Tangan Kiri dan Tangan Kanan Perakitan Perbaikan di atas menunjukkan bahwa perakitan satu unit *rotor head* membutuhkan waktu 1872 detik atau 31,20 menit. Pengurangan mencapai 48,97% dari kondisi awal. Hal tersebut dikarenakan peletakan sistem perakitan di meja kerja diatur sesuai dengan urutan perakitan untuk memudahkan gerakan tangan perakit. Selain itu, perakitan perbaikan

ini menggunakan *fixture* untuk menahan produk yang sedang dirakit sehingga kedua tangan dapat melakukan gerakan yang seimbang. Hal tersebut ditunjukkan bahwa tangan kiri pada perakitan perbaikan ini melakukan aktivitas memegang selama 732 detik atau sama dengan 39,10%, atau berkurang sebanyak 37,73% dari proses perakitan awal. Dengan begitu waktu perakitan juga akan lebih singkat.

4.8 Penggunaan Jig and Fixture

Untuk mendukung hasil optimal dalam perakitan *rotor head*, selain perbaikan *layout* juga perlu ditambahkan penggunaan *fixture* sebagai alat bantu perakit dalam memegang produk. *Fixture* yang digunakan adalah ditunjukkan pada Gambar di bawah ini.



Gambar 4.19 *Fixture* Untuk Perakitan *Rotor Head*

Fixture yang digunakan berbentuk dasar kotak dengan empat pengait. Diketahui sebelumnya bahwa perakitan *rotor head* memiliki dua *subassemblies*, yakni bagian *head* dan *bendix housing*. *Fixture* ini dapat membantu pengerjaan keduanya. Sehingga hanya satu *fixture* yang perlu diinvestasikan untuk mendukung proses perakitan. Dengan menggunakan *fixture* ini, tangan kiri akan lebih banyak bergerak untuk gerakan yang efisien.

4.9 Hasil Perhitungan DFA

Setelah dilakukan perbaikan *layout* kerja setempat dan penambahan *fixture* sebagai alat bantu, maka akan meminimumkan terjadinya *delay*. Berikut merupakan hasil analisa DFA untuk kondisi ideal tanpa *delay*.

Tabel 4.30 Waktu dan Biaya Tenaga Kerja Proses Perakitan Desain Perbaikan dengan *Fixture*

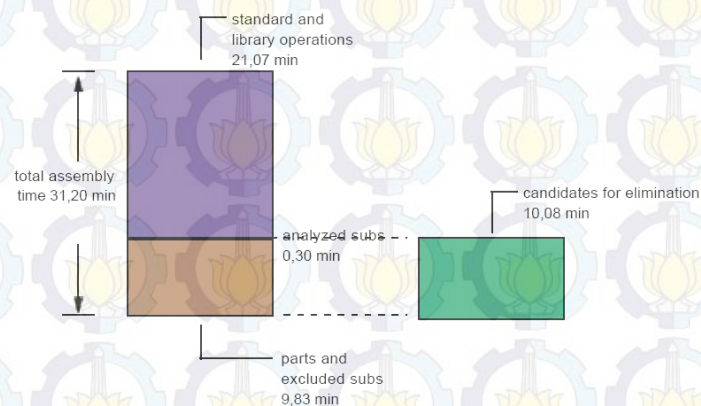
Per product data

	Entries (including repeats)	Number of different parts	Total time, min	Labor cost, \$	Item costs (including tooling), \$	Weight, g
Parts	36	22	9,83	0,08	127,87	15362,00
Subassemblies:						
Partially or fully analyzed	4	4	0,30	0,00	0,00	0,00
Named only	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Excluded	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Operations:						
Standard	20	3	5,95	0,05	-	-
Library	14	1	15,12	0,12	-	0,00
Column Totals	74	30	31,20	0,25	* 127,87	** 15362,00

Cost totals based on a product life volume of 10.000

	Labor cost, \$	Other operation cost, \$	Manuf. piece part cost, \$	Total cost without tooling, \$	Assy. tool or fixture cost, \$	Manuf. tooling cost, \$	Total cost, \$
Cost per product	0,25	0,00	43,87	128,12	0,00	-0,00	128,12
Production life cost	2.508	0	438.700	1.281.248	7	-36	1.281.220

The chart shows a breakdown of time per product



Gambar 4.20 Kebutuhan Waktu Perakitan Desain Perbaikan

Perhitungan *assembly efficiency* dari desain awal adalah sebagai berikut:

$$Em = \frac{Nm \times ta \times 100}{tma}$$

$$Em = \frac{14 \times 3 \times 100}{31,20 \times 60}$$

$$Em = 2,24$$

Keterangan:

E_{ma} = *Assembly Efficiency* untuk perakitan manual

N_{min} = Jumlah *part* minimum secara teori

t_{ma} = Total waktu perakitan (menit)

t_a = Waktu perakitan ideal untuk satu komponen (3 detik)

BAB 5

ANALISA DAN INTERPRETASI DATA

Dalam Bab Analisa dan Interpretasi Data berikut akan dijelaskan mengenai analisa data yang telah didapatkan serta analisa dari hasil pengolahan data yang telah dilakukan.

5.1 Analisis Desain Awal

Dalam subbab ini dijelaskan analisa desain awal *rotor head* untuk mengetahui kekurangan yang terdapat dalam perakitan desain awal. Analisis dilakukan berdasarkan gambar komponen, urutan proses perakitan dan tingkat kemudahan perakitan dari hasil *running software* DFA. Desain awal *rotor head* memiliki komponen sebanyak 52 unit (secara keseluruhan). Jumlah *fasteners* yang digunakan sebanyak 28 unit. Jumlah tersebut mencapai 53,84% dari total seluruh komponen penyusun. Sedangkan untuk waktu pengerjaannya adalah 47,20 menit per produk. Perhitungan waktu oleh DFA dilakukan dengan mengasumsikan bahwa tanpa ada *delay* dalam proses perakitan yang ada. Sedangkan dalam kondisi aktualnya, proses perakitan menghabiskan waktu hingga 90 menit per produk. Dari jumlah waktu tersebut. Dari hasil analisa desain awal melalui *Focus Group Discussion* dengan pihak perusahaan, didapatkan beberapa bagian *rotor head* yang perakitannya dapat diperbaiki.

5.2 Analisis Desain Perbaikan

Dalam subbab ini akan dijelaskan analisa dari desain perbaikan yang dibuat. Analisa yang dijelaskan meliputi analisa identifikasi komponen, analisa *suggestion for redesign*, analisa waktu, biaya, serta *assembly efficiency*.

5.2.1 Analisis Identifikasi Komponen

Tingkat kesulitan yang terjadi pada perakitan *rotor head* ini dikarenakan banyaknya komponen yang harus dirakit. Seperti pada bagian *head* yang tersusun dari 13 komponen, di mana tujuh atau 53,85% komponennya merupakan *fasteners*, yakni

baut. Dilihat dari urutan per tahapannya, terdapat 15 tahapan dalam proses perakitan *head*. Sedangkan, dari sisi kegunaannya sendiri, *head* ini merupakan salah satu bagian *rotor head* yang tidak banyak dibongkar pasang ketika pemakaiannya. Selain itu, bagian lain yang dapat dilakukan *improvement* adalah *bendix housing*. *Bendix housing* merupakan bagian bawah *rotor head* yang nantinya terhubung dengan rangka utama *gyroplane*. *Bendix housing* pada desain awal memiliki 17 komponen penyusun. Delapan diantaranya atau sebanyak 47,06% komponen penyusunnya merupakan *fasteners*. Oleh karena itu, perlu dilakukan perbaikan desain untuk efisiensi waktu produksi dan biaya serta mengurangi tingkat kesulitan (*accessibility*) yang terjadi.

Pada desain perbaikannya, *head* dibentuk menjadi *single block*. Di mana sebelumnya disusun oleh *fork* kanan, *fork* kiri dan *bearing housing* serta membutuhkan dua baut dalam perakitannya. Dengan konsep *single block*, lima komponen dapat diminimalkan menjadi satu komponen, yakni dengan penggabungan menggunakan *welding*. Sedangkan untuk *bendix housing* dilakukan pengurangan *fasteners* dengan mengeliminasi komponen *arm plate*. *Bendix housing* berbeda dengan *head* yang dapat dijadikan komponen *single block*. Karena *bendix housing* akan dirakit dengan komponen rangka sehingga akan sulit dilakukan jika dibuat *single block*. Sedangkan untuk *head* akan lebih kokoh menggunakan *single block* karena menjadi penopang baling-baling dan tidak banyak aktivitas bongkar pasang.

Secara keseluruhan, dengan menganalisa jumlah komponen berdasarkan konsep DFA, diketahui berapakah jumlah komponen optimal yang menyusun *rotor head*. Dari desain awal terdapat 52 komponen penyusun dan untuk desain perbaikan menjadi 36 komponen. Jumlah tersebut berkurang 30,77%. Dari hasil tersebut diharapkan waktu serta biaya perakitan dapat diminimalkan, sedangkan *assembly efficiency* lebih tinggi.

5.2.2 Analisis Suggestion for Redesign

Suggestion for Redesign merupakan dasar dibuatnya desain perbaikan. Analisa ini dilakukan untuk mengetahui komponen-komponen yang diperhatikan dalam perancangan desain perbaikan sehingga penggunaan *fasteners* dapat diminimalkan.

Salah satu keluaran *software* DFA ini merupakan saran terkait komponen apa saja yang harus diperhatikan. Tabel berikut merupakan komponen-komponen *rotor head* yang termasuk dalam *suggestion for redesign*.

Tabel 5.1 *Suggestion for Redesign*

Komponen	Quantity	Time Savings, min	Percentage Reductions
<i>Fasteners</i>	28	7,88	16,69%
<i>Separate Operation</i>	53	33,71	71,41%
<i>Handling Difficulties</i>	6	0,22	0,02%
<i>Insertion Difficulties</i>	1	0,02	0,00%

Dari Tabel di atas dapat dilihat bahwa ada beberapa komponen yang disarankan oleh *software* DFA untuk digabung maupun dieliminasi. Yang pertama adalah komponen *fasteners*. Komponen *fasteners* berfungsi sebagai pengencang antar komponen lainnya, seperti *bolt*. Jumlah total komponen *fasteners* sebanyak 28 komponen dengan waktu yang dapat direduksi 7,88 menit (16,69%).

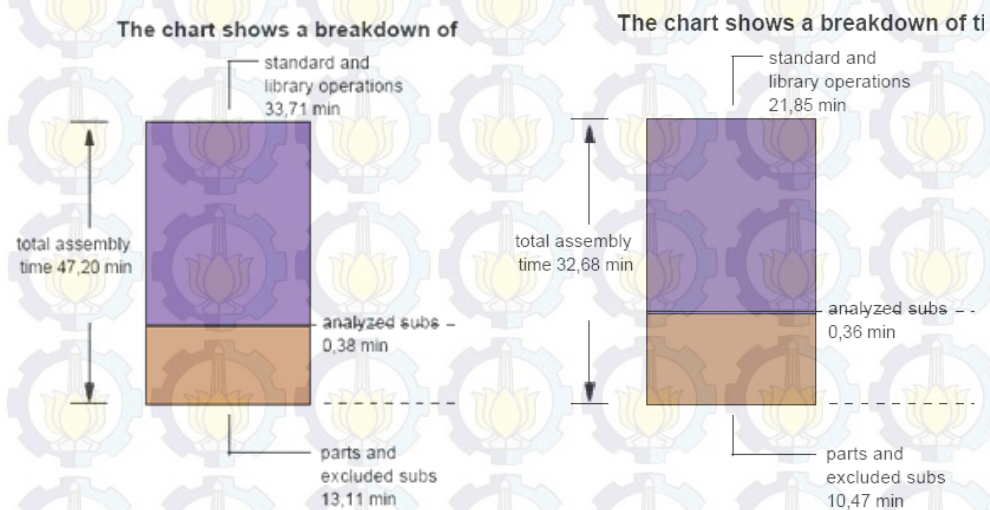
Yang kedua adalah *separate operation*, yakni operasi penyambungan komponen. Jumlah total operasi pada perakitan *rotor head* ini adalah 53 proses. Dengan waktu operasi selama 33,71 menit (71,41%). Selanjutnya komponen yang dikriteriakan untuk digabung atau dieliminasi dari aspek *handling difficulties* dan *insertion difficulties*. Untuk yang dimaksud *handling difficulties* adalah kesulitan dalam memegang komponen saat melakukan perakitan. Sedangkan *insertion difficulties* merupakan kesulitan menyatukan komponen saat perakitan. Masing-masing enam komponen dan satu komponen. Untuk *handling difficulties* termasuk *bearing housing*, *hub bar*, *block teeter* dapat mereduksi 0,22 menit (0,02%). Untuk *insertion difficulties* seperti *arm plate* dapat mereduksi 0,02 menit (0,00%).

Meskipun terdapat banyak saran perbaikan berdasarkan konsep DFA, tidak dapat secara langsung diaplikasikan dalam perancangan desain *rotor head*. Untuk

mengaplikasikan desain *rotor head* ini harus melalui beberapa uji kelayakan seperti uji keamanan dan kekuatan selama terbang.

5.2.3 Analisis Waktu, Biaya dan *Assembly Efficiency*

Dalam identifikasi proses perakitan, terdapat tiga aspek penyusun waktu perakitan, yaitu operasi perakitan untuk komponen, operasi perakitan untuk *subassemblies* dan *standard and library operation*.



Gambar 5.1 Perbandingan Waktu Perakitan Desain Awal dan Desain Perbaikan

Dari Gambar tersebut dapat diketahui bahwa total waktu perakitan dilakukan selama 32,68 menit atau terjadi pengurangan selama 14,50 menit (30%) dari perakitan desain awal. *Standard and library operations* membutuhkan waktu selama 21,85 menit atau mengalami pengurangan sebesar 11,9 menit (40%). Sedangkan untuk perakitan komponen seperti *insertion* membutuhkan waktu 6,14 menit atau berkurang hingga 30% dari perakitan desain awal. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa terdapat selisih antara waktu perakitan desain perbaikan dengan desain awal. Sehingga biaya tenaga kerja akan lebih rendah apabila waktu kerja dapat lebih singkat. Untuk nilai *assembly efficiency* mengalami peningkatan. Dari desain awal sebesar 1,58 menjadi 2,14 pada desain perbaikan. Artinya, perbaikan yang diberikan mampu

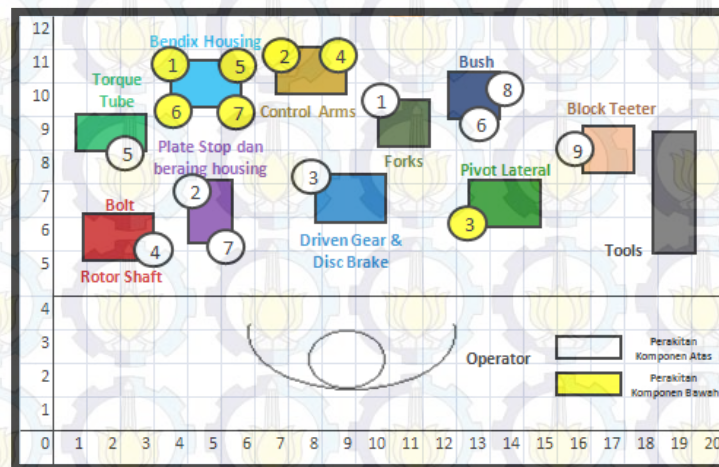
meningkatkan performa perakitan *rotor head* jika dibandingkan dengan desain awal. Untuk biaya juga terjadi penghematan sebesar \$0,12 produknya.

5.3 Analisis Perbaikan Sistem Perakitan *Rotor Head*

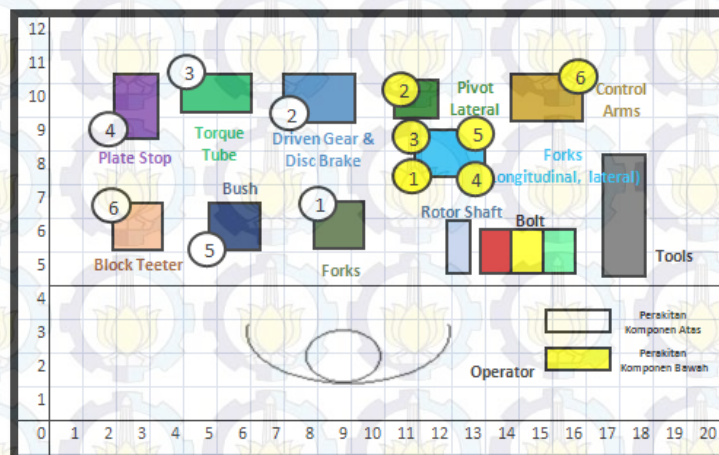
Analisis Perbaikan Sistem Perakitan *Rotor Head* ini menjelaskan mengenai perbaikan *layout* perakitan dan penggunaan *fixture* sebagai alat bantu perakitan.

5.3.1 Analisis Perbaikan *Layout* Kerja

Dalam penelitian ini dilakukan perbaikan sistem perakitan dengan mengatur ulang *layout* meja kerja perakitan. Berikut merupakan gambaran *layout* perbaikannya.



(a)



(b)

Gambar 5.2 (a) *Layout* Kerja Awal. (b) *Layout* Kerja Perbaikan

Prinsip perbaikan *layout* ini adalah berdasarkan urutan perakitan. Komponen yang urutan perakitannya dekat maka posisinya di meja kerja juga dekat. Hal tersebut untuk memudahkan operator dalam mengambil komponen yang akan dirakit tanpa mencari ulang posisinya. Sehingga gerakan-gerakan yang kurang efisien seperti mencari tersebut dapat direduksi. Selain itu, peletakkan mur, baut, dan alat-alat perakitan di sebelah kanan operator. Karena akan ada banyak gerakan tangan kanan terhadap mur, baut dan alat-alat perakitan. Untuk mur dan baut terdapat tiga jenis yang digunakan dalam perakitan ini. Untuk memudahkan operator melakukan pengambilan sesuai dengan yang dibutuhkan, maka digunakan wadah dengan warna berbeda untuk membedakan masing-masing komponen. Sehingga tanpa menggunakan wadah bening, operator sudah mengetahui komponen mana yang seharusnya di ambil.

5.3.2 Analisis Penggunaan Fixture

Fixture yang digunakan berbentuk dasar kotak dengan empat pengait. Diketahui sebelumnya bahwa perakitan *rotor head* memiliki dua *subassemblies*, yakni bagian *head* dan *bendix housing*. *Fixture* ini dapat membantu pengerjaan keduanya. Sehingga hanya satu *fixture* yang perlu diinvestasikan untuk mendukung proses perakitan. Dengan menggunakan *fixture* ini, tangan kiri akan lebih banyak bergerak untuk gerakan yang efisien. Penggunaan *fixture* sebagai *tool* perakitan menyebabkan *total cost* yang terjadi lebih tinggi. Namun, perhitungan *total cost* dengan *fixture* tersebut hanya terjadi satu kali di awal penggunaan dikarenakan *fixture* dapat digunakan untuk perakitan-perakitan *rotor head* dalam jangka waktu yang cukup panjang.

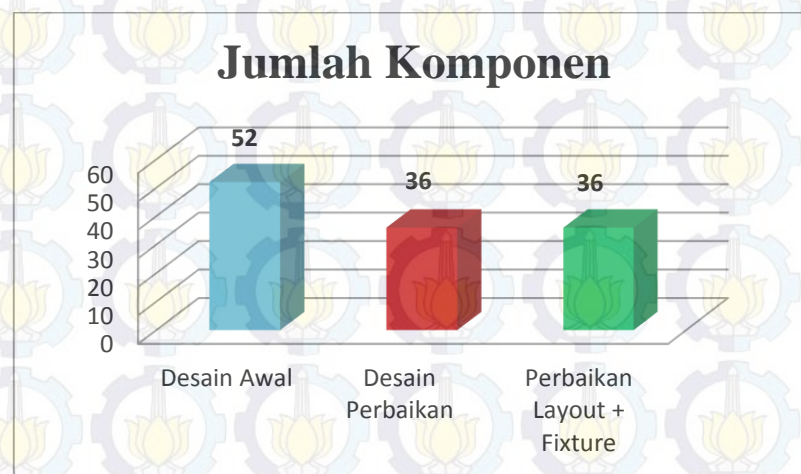
5.4 Analisis Perbandingan Desain Awal dan Hasil Perbaikan

Untuk menganalisa hasil desain awal dan perbaikan, dilakukan perbandingan dari beberapa aspek. Diantaranya adalah jumlah komponen, waktu perakitan, biaya tenaga kerja, biaya serta *assembly efficiency*. Tabel 5.2 di bawah menunjukkan hasil perbandingan ketiga perakitan tersebut.

Tabel 5.2 Perbandingan Perakitan Desain Awal dan Perbaikan

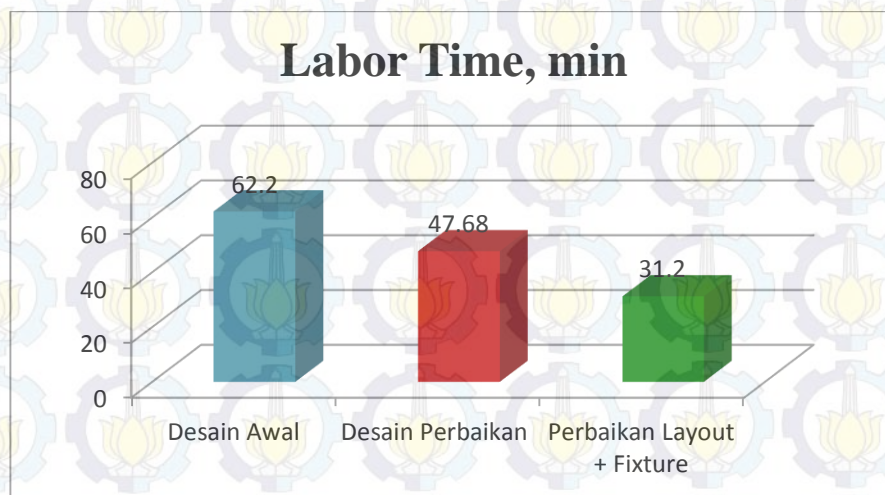
	Desain Awal	Desain Perbaikan	Perbaikan Layout + Fixture
<i>Count</i>	52	36	36
<i>Minimum Count</i>	15	14	14
<i>Labor Time, min</i>	47,20+ 15	32,68 +15	31,20
<i>Labor Cost, \$</i>	0,38	0,29	0,25
<i>Assy.tool/fixture, \$</i>	17,2	17,2	24,8
<i>Item Cost, \$</i>	144,73	127,87	127,87
<i>Total Cost, \$</i>	162,31	145,36	152,92
<i>DFA Index</i>	1,58	2,14	2,24

Dari Tabel di atas terlihat bahwa kebutuhan komponen penyusun untuk desain awal sebanyak 52 komponen dan untuk desain perbaikan 36 komponen. Dalam merancang suatu produk sangat penting mempertimbangkan jumlah komponen penyusun. Bahwa semakin banyak jumlah komponen yang dirakit maka akan semakin besar biaya yang dikeluarkan. Untuk desain *rotor head* ini, pengurangan satu komponen saja bisa berdampak pada aspek keamanan, kekuatan dan ketahanan. Oleh karena itu, perubahan desain tidak dapat dilakukan secara sembarangan. Gambar 5.3 di bawah ini merupakan grafik perbandingan jumlah komponen dari desain awal dan desain perbaikan.



Gambar 5.3 Perbandingan Jumlah Komponen Penyusun *Rotor Head*

Selain dari segi jumlah komponen, waktu perakitan juga menjadi aspek penting untuk mempertimbangkan desain terbaik yang akan digunakan. Dengan mempertimbangkan *delay* pada kondisi perakitan aktual, desain awal memerlukan waktu 62,20 menit untuk merakit satu unit *rotor head*. Untuk desain perbaikan membutuhkan waktu 47,68 menit per unit. Sedangkan untuk perakitan desain perbaikan dengan *pengatura layout* kerja yang baru dan penggunaan *fixture*, membutuhkan waktu 31,20 menit. Terjadi pengurangan waktu perakitan tersebut pada dasarnya karena pengurangan jumlah komponen. Sedangkan, terjadi pengurangan waktu kerja yang lebih signifikan setelah dilakukan perbaikan *layout* kerja dan penggunaan *fixture*. Gambar 5.4 di bawah ini merupakan grafik perbandingan waktu perakitan dari desain awal dan perbaikan.

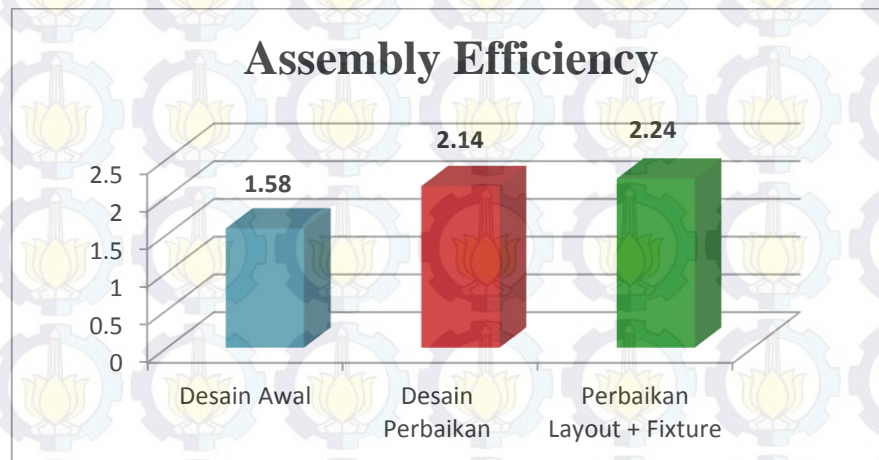


Gambar 5.4 Perbandingan Waktu Perakitan Komponen Penyusun *Rotor Head*

Dari Gambar 5.4 tersebut dapat diketahui pengurangan waktu kerja terjadi. Selain karena jumlah komponen dan perbaikan sistem perakitan, pengurangan tersebut juga terjadi karena aksesibilitas perakitan pada desain awal sudah diperbaiki pada desain perbaikan.

Selain pengurangan jumlah komponen dan waktu perakitan, perbaikan desain tersebut juga terlihat dari nilai *assembly efficiency* yang mengalami kenaikan. Artinya, desain perbaikan memiliki performa perakitan yang lebih baik daripada desain awal.

Untuk desain awal memiliki nilai *assembly efficiency* sebesar 1,58. Desain perbaikan memiliki nilai *assembly efficiency* sebesar 2,14. Dan desain perbaikan dengan perbaikan sistem perakitan memiliki nilai *assembly efficiency* sebesar 2,24. Peningkatan tersebut cukup signifikan karena pada desain perbaikan sudah mengeliminasi permasalahan pada desain awal, yaitu kesulitan perakitan di bagian *head* yakni *bearing housing* dengan *fork*, dan pada perakitan di bagian *bendix housing*, yakni pada *part arm plate* dengan *bendix housing* dan *pivot lateral*. Gambar 5.5 di bawah ini merupakan grafik perbandingan *assembly efficiency* dari desain awal hingga desain perbaikan.

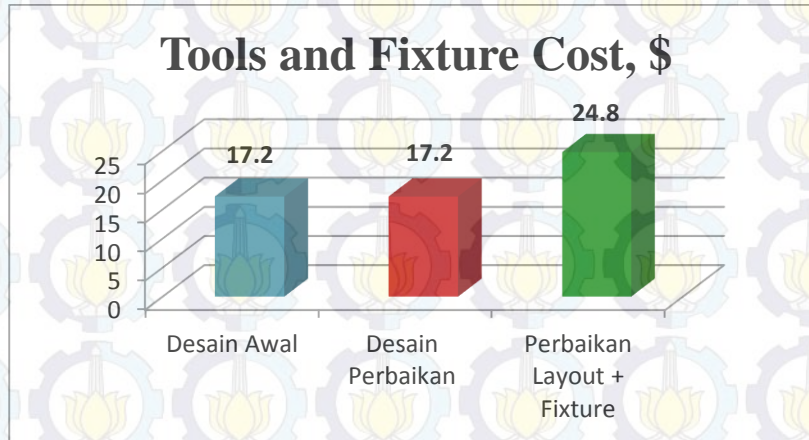


Gambar 5.5 Perbandingan Nilai *Assembly Efficiency*

Selanjutnya untuk perbandingan biaya yang dibandingkan adalah biaya tenaga kerja, biaya *tools and fixture*, dan biaya total. Pada desain awal biaya tenaga kerja yang dikeluarkan adalah sebesar \$0,38, biaya *tools and fixture* sebesar \$17,2 dan biaya total sebesar \$162,31. Untuk desain perbaikan, biaya tenaga kerja \$0,29, biaya *tools and fixture* \$17,2 dan biaya total \$145,36. Dan untuk desain perbaikan dengan perbaikan *layout* kerja dan penambahan *fixture*, biaya yang dibutuhkan untuk tenaga kerja sebesar \$0,25, biaya *tools and fixture* \$24,8 dan biaya total \$152,92.



Gambar 5.6 *Labor Cost Perakitan Rotor Head*



Gambar 5.7 *Tools and Fixture Cost Perakitan Rotor Head*



Gambar 5.8 *Total Cost Perakitan Rotor Head*

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa pengurangan jumlah komponen mempengaruhi nilai *assembly efficiency* yang semakin meningkat. Dengan mengurangi jumlah komponen yang memiliki kesulitan dalam perakitan, maka akan mempengaruhi keberlangsungan produksi *rotor head* berjalan lebih efisien. Di mana waktu kerja dan biaya produksi dapat diminimalkan. Desain memegang peranan sangat penting dalam kemudahan perakitan. Namun, dengan ditunjang perbaikan *layout* kerja dan penggunaan *fixture* tingkat kemudahan perakitan juga akan semakin naik. Seperti yang telah dievaluasi dalam penelitian ini. *Output* waktu kerja dari DFA memiliki selisih hingga 15 menit dari kondisi aktual yang terjadi. Hal tersebut dikarenakan DFA mengasumsikan bahwa tidak terjadi *delay* selama proses perakitan berlangsung. Sehingga didapatkan selisih waktu kerja antara kondisi ideal dengan kondisi aktual yang terjadi adalah selama 15 menit. Beberapa hal yang melatarbelakangi keterlambatan tersebut antara lain:

1. Adanya aktivitas di luar kerja perakitan, seperti berbicara dengan rekan kerja.
2. Kesalahan pengambilan komponen sehingga dilakukan pengambilan ulang.
3. Adanya kesalahan pengambilan *tool* sehingga dilakukan pengambilan ulang.
4. Kehabisan *stock* komponen sehingga dilakukan pengambilan ke *warehouse*.
5. *Idle time* lain dari gerakan-gerakan yang tidak diperlukan.
6. Tidak menggunakan bantuan alat sehingga salah satu tangan harus memegang produk yang dirakit, sehingga pergerakan banyak dilakukan satu tangan.
7. Terdapat posisi *part-part* di meja kerja yang sulit untuk dijangkau karena mudah tersangkut *part* lain.

Melihat permasalahan keterlambatan tersebut, dalam penelitian ini juga dilakukan perbaikan *layout* kerja untuk meminimalkan terjadinya *delay* dan penambahan *tool fixture* untuk mendukung pergerakan dua tangan. Sehingga kemudahan perakitan akan jauh lebih meningkat dengan didukung perbaikan sistem kerja perakitannya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam Bab Kesimpulan dan Saran berisi kesimpulan dari analisa yang telah dilakukan dalam penelitian Tugas Akhir ini. Di mana kesimpulan yang diberikan dapat menjadi pertimbangan bagi perusahaan apabila mengadakan perbaikan. Selain kesimpulan, ada juga saran-saran yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan.

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa desain awal dan desain perbaikan menggunakan pendekatan DFA dan *software* DFA, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Desain *rotor head* yang saat ini digunakan oleh PT. Bayu Aircraft Indonesia dapat dikembangkan sehingga menjadi lebih efisien dari aspek waktu dan biaya perakitannya. Dibuktikan dengan adanya peningkatan *assembly efficiency* saat desain diperbaiki. Yakni nilai DFA Indeks pada desain awal sebesar 1,58 dan pada desain perbaikan menjadi 2,14. Untuk waktu pengerjaan dan biaya tenaga kerja dapat direduksi masing-masing sebanyak 23,34% dan 23,68%.
2. Pada desain perbaikan, *head* diubah menjadi *single block*. dan bagian lain yang dilakukan *improvement* adalah pada *bendix housing* yang memiliki 17 komponen penyusun. Dari kedua desain yang dianalisa, diketahui bahwa pengurangan jumlah komponen juga diikuti dengan pengurangan biaya yang dikeluarkan dan juga waktu pengerjaan yang dibutuhkan. Dengan catatan, pengurangan komponen tersebut tidak membuat proses perakitan menjadi lebih sulit.
3. Peningkatan *assembly efficiency* lebih optimal jika perbaikan desain dibarengi pula dengan penyesuaian *layout* dan investasi alat untuk mendukung proses perakitan. Sistem perakitan ini juga menjadi lebih meningkat dengan dilakukannya perbaikan layout kerja dan penambahan fixture. Di mana dapat meningkatkan DFA Indeks menjadi 2,24 dan mereduksi waktu pengerjaan

serta biaya tenaga kerja masing-masing sebanyak 49,84% dan 34,21%. Hal tersebut membuktikan bahwa perancangan desain suatu produk memiliki pengaruh penting terhadap tingkat kesulitan perakitan dan produksinya.

6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk perusahaan:

1. Desain perbaikan lebih efisien untuk diterapkan untuk meminimalkan *cost* dan *labor time*.
2. Dilakukan pengaturan ulang pada *layout* kerja setempat untuk perakitan sehingga pergerakan tangan kanan dan tangan kiri dapat seimbang. Hal tersebut mempengaruhi *labor time* sehingga otomatis mempengaruhi *labor cost*.
3. Perlu penambahan *fixture* untuk memudahkan perakitan yang dilakukan.

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya:

4. Sebaiknya penelitian Tugas Akhir dengan menggunakan pendekatan DFMA dilakukan pada obyek yang tidak memerlukan tes atau uji kelayakan terlebih dahulu pada pembuatan desain perbaikan agar penelitian dapat dilakukan dengan cepat dan tidak melebihi jangka waktu yang telah ditentukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Asshley, Steven. 1995. *Cutting Cost and Time with DFMA*. Mechanical Engineering.
- Babu, V., Glagiardi, L., Brinthaban, A., Paul, S. 2006. *The Autogyro*. The University of Adelaide: Dept. of Mechanical Engineering.
- Bolton, J.D. 2007. *Add Value to Manufactured Products with DFMA*. 3.
- Boothroyd Dewhurst, I. 2012. *Design For Assembly* [Online]. Available: <http://www.dfma.com/software/dfa.htm> [Accessed 20 Maret 2015]
- Boothroyd Dewhurst, I. 2012. *Design For Manufacture* [Online]. Available: <http://www.dfma.com/software/dfm.htm> [Accessed 20 Maret 2015]
- Boothroyd, G., Dewhurst, P. & Knight, W. 2002. *Product Design for Manufacture and Assembly*, USA, Marcel Dekker, Inc.
- Boothroyd, G. & Dewhurst, P. 1989. *Product Design for Assembly*, New York, McGraw Hill Inc.
- Brown, W. B. & Karagozoglu, N. 1993. *Leading The Way To Faster New Product Development*. The Academy of Management Executive, 7, 36-47.
- De Fazio, T. & Whitney, D.E. 1987. *Simplified Generation of All Mechanical Assembly Sequences*. Robotics and Automation, IEEE Journal of, 3, 640,658
- Garza, J. M. D. L., JR., P. A., Kapoor, M. & Ramesh, P. S. 2009. *Value of Concurrent Engineering For A/E/C Industry*. Management In Engineering, 6.
- I Wayan Sukania. *Perbaikan Metode Perakitan Steker Melalui Peta Tangan Kiri dan Tangan Kanan*. Prosiding Temu Ilmiah Dosen Teknik Untar, Jakarta, 2012.
- Izuchukwu, J. 1992. *Architecture and Process: The Role of Integrated Systems in Concurrent Engineering Introduction*.
- Nurmianto. *Ergonomi, Konsep Dasar dan Aplikasinya*. PT Guna Widya, Jakarta, 1998.
- Salustri, F. A. & Chan, V. 2005. *Design for Assembly* [Online]. Canada. Available: <http://deed.ryerson.ca/~fil/t/dfmdfa.html> [Accessed 20 Maret 2015]

- 
- Sutalaksana, Iftikar Z, RuhanaAnggawisastra dan John H. Tjakraatmadja. *Teknik Tata Cara Kerja*. Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Bandung. Bandung, 2000.
- Tien-Chang, Wysk, R.A. & Wang, H.-P. 1998. *Computer-Aided Manufacturing*, New York, Prentice Hall.
- Wayne C Turner, Joe H. Mize, Kenneth E Case, John W.Nazementz. *Pengantar Teknik & Sistem Industri*. Jilid Kedua Edisi Bahasa Indonesia, Guna Widya, 2000.
- Wignjosoebroto, Sritom. 1995. *Ergonomi Studi Gerak dan Waktu*. Penerbit: Guna Widya. Surabaya
- Winner, R. I., Pennel, J. P., Bertrand, H. E. &Slusarczuk, M. M. 1988. *The Role of Concurrent Engineering In Weapons System Acquisition*. DTIC Document.
- Xie, X. 2003.*Design for Manufacture and Assembly*. Utah: Department of Mechanical
- _____. Quality & Safety. Available: <http://www.trixyaviation.com> [Accessed 2 Juni 2015]

LAMPIRAN

Design for Assembly: Product Worksheet

Boothroyd Dewhurst, Inc.



17 Juni 2015 11:25
Rotor System

Rotor System.dfa
Product: Original

No.		Name	Part number	Type	Repeat count	Total count	Securing method	Minimum items	Minimum part criteria	Handling problems
1		Rotor System	A100-125	Main						
2		Rotor Head	A100-125-001	Sub	1	1	Sep. op		None	
3		Head	A100	Sub	1	1	Sep. op		None	
4		Forks	A100-125-101	Part	2	2	Thread		2 Base part	
5		Plate Stop	A100-125-401	Part	1	1	Thread		1 Assembly	X
6		Bearing Housing	A100-125-501	Part	1	1	Thread		0 None	X
7		Bolt 4 mm	AB-001A	Part	8	8	Thread		0 Fastens	X
8		threaded fastening		Oper	1	1	Thread			
9		threaded fastening		Oper	1	1	Thread			
10		threaded fastening		Oper	1	1	Thread			
11		threaded fastening		Oper	1	1	Thread			
12		threaded fastening		Oper	1	1	Thread			
13		threaded fastening		Oper	1	1	Thread			
14		threaded fastening		Oper	1	1	Thread			
15		threaded fastening		Oper	1	1	Thread			
16		Totals for Head				20		3		
17		Disc Perrotator	A100-125-1001	Part	1	1	Thread		1 Base part	X
18		Driven Gear	A100-125-601	Part	1	1	Stake		1 Base part	

www.dfma.com

Page 1 of 16

Design for Assembly: Product Worksheet

Boothroyd Dewhurst, Inc.



17 Juni 2015 11:25
Rotor System

Rotor System.dfa
Product: Original

No.		Name	Part number	Type	Repeat count	Total count	Securing method	Minimum items	Minimum part criteria	Handling problems
19		Bar Hub	A100-125-601	Part	1	1	Thread		1 Base part	X
20		Bush Bearing Lower	A100-125-801	Part	1	1	Thread		1 Assembly	
21		Block Tester	A100-125-301	Part	1	1	Thread		1 Base part	X
22		Bush Bearing Upper	A100-125-701	Part	1	1	Thread		1 Assembly	
23		Bush Tester	A100-125-201	Part	2	2	Thread		2 Assembly	X
24		Torque Tube	A100-125-1101	Part	1	1	Thread		1 Base part	X
25		Rotor Shaft	B100-125-601	Part	1	1	Sep. op		0 None	
26		push or press fitting		Oper	1	1	Push			
27		Bolt 8 mm	AB-002A	Part	5	5	Thread		0 Fastens	X
28		Bolt 10 mm	AB-003A	Part	1	1	Thread		0 Fastens	X
29		threaded fastening		Oper	1	1	Thread			
30		threaded fastening		Oper	1	1	Thread			
31		threaded fastening		Oper	1	1	Thread			
32		threaded fastening		Oper	1	1	Thread			
33		threaded fastening		Oper	1	1	Thread			
34		Inspection		Lib Op	14	14				
35		Totals for Rotor Head				57		12		
36		Control Arms & Bendix Housing	B100-125-001	Sub	1	1	Sep. op		None	

www.dfma.com

Page 2 of 16

Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.

17 Juni 2015 11:25
Rotor System

Rotor System.dfa
Product: Original

No.		Name	Part number	Type	Repeat count	Total count	Securing method	Minimum items	Minimum part criteria	Handling problems
37	▢	Bendix Housing	B100	Sub	1	1	Sep. op		None	
38		Pivot Lateral	B100-125-101	Part	1	1	Sep. op		1 Base part	
39		Arms Plates	B100-125-301	Part	2	2	Sep. op		0 None	
40		Bendix Housing	B100-125-501	Part	2	2	Sep. op		0 None	
41		Bendix Housing	B100-125-401	Part	2	2	Sep. op		0 None	
42		Bolt 4 mm	AB-001B	Part	8	8	Sep. op		0 Fastens	
43		threaded fastening		Oper	1	1	Thread			
44		threaded fastening		Oper	1	1	Thread			
45		threaded fastening		Oper	1	1	Thread			
46		threaded fastening		Oper	1	1	Thread			
47		threaded fastening		Oper	1	1	Thread			
48		threaded fastening		Oper	1	1	Thread			
49		threaded fastening		Oper	1	1	Thread			
50		threaded fastening		Oper	1	1	Thread			
51	△	Totals for Bendix Housing				23			1	
52		Control Arms	B100-125-201	Part	2	2	Sep. op		2 Base part	
53		Bolt 6 mm	AB-002B	Part	5	5	Sep. op		0 Fastens	
54		Bolt 10 mm	AB-003B	Part	1	1	Sep. op		0 Fastens	

www.dfma.com

Page 3 of 16

Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.

17 Juni 2015 11:25
Rotor System

Rotor System.dfa
Product: Original

No.		Name	Part number	Type	Repeat count	Total count	Securing method	Minimum items	Minimum part criteria	Handling problems
55		push or press fitting		Oper	1	1	Push			
56		threaded fastening		Oper	1	1	Thread			
57		threaded fastening		Oper	1	1	Thread			
58		threaded fastening		Oper	1	1	Thread			
59		threaded fastening		Oper	1	1	Thread			
60		threaded fastening		Oper	1	1	Thread			
61		threaded fastening		Oper	1	1	Thread			
62		Inspection		Lib Op	7	7				
63	△	Totals for Control Arms & Bend				46			3	
64		Locking Pin	AB-100	Part	1	1	Sep. op		0 Connects	
65		snap fitting		Oper	1	1	Snap			
66		Inspection		Lib Op	1	1				
67	△	Totals for Rotor System				108			15	





www.dfma.com

Page 4 of 16

Design for Assembly: Product Worksheet Boothroyd Dewhurst, Inc.

17 Juni 2015 11:25
Rotor System

Rotor System.dfa
Product: Original

No.		Name	Insertion problems	Ergonomic problems	Tool fetching and preparation time, min	Item handling time, min	Insertion/operation time, min	Total labor time, min	Labor cost, \$	Special assembly tool or fixture cost.
1		Rotor System								0.00
2		Rotor Head		X	0.00	0.00	0.04	0.10	0.00	0.00
3		Head	X	X	0.00	0.04	0.13	0.17	0.00	0.00
4		Forks		X	0.00	0.05	0.32	0.81	0.01	0.00
5		Plate Stop	X	X	0.00	0.10	0.45	0.63	0.01	0.00
6		Bearing Housing	X	X	0.00	0.10	0.15	0.34	0.00	0.00
7		Bolt 4 mm	X	X	0.00	0.00	0.45	4.18	0.03	0.00
8		threaded fastening		X	0.00	0.00	0.29	0.38	0.00	0.00
9		threaded fastening		X	0.00	0.00	0.29	0.38	0.00	0.00
10		threaded fastening		X	0.00	0.00	0.29	0.38	0.00	0.00
11		threaded fastening		X	0.00	0.00	0.29	0.38	0.00	0.00
12		threaded fastening		X	0.00	0.00	0.29	0.38	0.00	0.00
13		threaded fastening		X	0.00	0.00	0.29	0.38	0.00	0.00
14		threaded fastening		X	0.00	0.00	0.29	0.38	0.00	0.00
15		threaded fastening		X	0.00	0.00	0.29	0.38	0.00	0.00
16		Totals for Head						9.00	0.07	0.00
17		Disc Prerotator		X	0.00	0.10	0.06	0.25	0.00	0.00
18		Driven Gear		X	0.00	0.04	0.12	0.16	0.00	0.00



www.dfma.com

Page 5 of 16

Design for Assembly: Product Worksheet Boothroyd Dewhurst, Inc.

17 Juni 2015 11:25
Rotor System

Rotor System.dfa
Product: Original

No.		Name	Insertion problems	Ergonomic problems	Tool fetching and preparation time, min	Item handling time, min	Insertion/operation time, min	Total labor time, min	Labor cost, \$	Special assembly tool or fixture cost.
19		Bar Hub	X	X	0.00	0.10	0.45	0.63	0.01	0.00
20		Bush Bearing Lower	X	X	0.00	0.00	0.06	0.21	0.00	0.00
21		Block Teeter	X	X	0.00	0.10	0.15	0.34	0.00	0.00
22		Bush Bearing Upper	X	X	0.00	0.00	0.06	0.21	0.00	0.00
23		Bush Teeter	X	X	0.00	0.00	0.07	0.38	0.00	0.00
24		Torque Tube	X	X	0.00	0.00	0.35	0.51	0.00	0.00
25		Rotor Shaft			0.00	0.03	0.03	0.06	0.00	0.00
26		push or press fitting	X	X	0.00	0.00	0.16	0.16	0.00	0.00
27		Bolt 8 mm	X	X	0.00	0.00	0.36	2.19	0.02	0.00
28		Bolt 10 mm	X	X	0.00	0.10	0.45	0.63	0.01	0.00
29		threaded fastening		X	0.00	0.00	0.29	0.38	0.00	0.00
30		threaded fastening		X	0.00	0.00	0.29	0.38	0.00	0.00
31		threaded fastening		X	0.00	0.00	0.29	0.38	0.00	0.00
32		threaded fastening		X	0.00	0.00	0.29	0.38	0.00	0.00
33		threaded fastening		X	0.00	0.00	0.29	0.38	0.00	0.00
34		Inspection			0.50		1.01	14.59	0.12	0.00
35		Totals for Rotor Head						31.38	0.25	0.00
36		Control Arms & Bendix Housing			0.00	0.03	0.03	0.06	0.00	0.00

www.dfma.com

Page 6 of 16

Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.



17 Juni 2015 11:25
Rotor System

Rotor System.dfa
Product: Original

No.		Name	Insertion problems	Ergonomic problems	Tool fetching and preparation time, min	Item handling time, min	Insertion/operation time, min	Total labor time, min	Labor cost, \$	Special assembly tool or fixture cost,
37	☐	Bendix Housing			0,00	0,03	0,03	0,06	0,00	0,00
38		Pivot Lateral	X	X	0,00	0,03	0,04	0,07	0,00	0,00
39		Arms Plates	X	X	0,00	0,03	0,06	0,19	0,00	0,00
40		Bendix Housing			0,00	0,04	0,03	0,13	0,00	0,00
41		Bendix Housing			0,00	0,04	0,03	0,13	0,00	0,00
42		Bolt 4 mm			0,00	0,04	0,03	0,53	0,00	0,00
43		threaded fastening		X	0,09	0,00	0,29	0,38	0,00	0,00
44		threaded fastening		X	0,09	0,00	0,29	0,38	0,00	0,00
45		threaded fastening		X	0,09	0,00	0,29	0,38	0,00	0,00
46		threaded fastening		X	0,09	0,00	0,29	0,38	0,00	0,00
47		threaded fastening		X	0,09	0,00	0,29	0,38	0,00	0,00
48		threaded fastening		X	0,09	0,00	0,29	0,38	0,00	0,00
49		threaded fastening		X	0,09	0,00	0,29	0,38	0,00	0,00
50		threaded fastening		X	0,09	0,00	0,29	0,38	0,00	0,00
51	△	Totals for Bendix Housing						4,10	0,03	0,00
52		Control Arms			0,00	0,03	0,03	0,12	0,00	0,00
53		Bolt 8 mm			0,00	0,03	0,03	0,29	0,00	0,00
54		Bolt 10 mm			0,00	0,03	0,03	0,06	0,00	0,00

www.dfma.com

Page 7 of 16

Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.



17 Juni 2015 11:25
Rotor System

Rotor System.dfa
Product: Original

No.		Name	Insertion problems	Ergonomic problems	Tool fetching and preparation time, min	Item handling time, min	Insertion/operation time, min	Total labor time, min	Labor cost, \$	Special assembly tool or fixture cost,
55		push or press fitting			0,00	0,00	0,08	0,08	0,00	0,00
56		threaded fastening		X	0,09	0,00	0,29	0,38	0,00	0,00
57		threaded fastening		X	0,09	0,00	0,29	0,38	0,00	0,00
58		threaded fastening		X	0,09	0,00	0,29	0,38	0,00	0,00
59		threaded fastening		X	0,09	0,00	0,29	0,38	0,00	0,00
60		threaded fastening		X	0,09	0,00	0,29	0,38	0,00	0,00
61		threaded fastening		X	0,09	0,00	0,29	0,38	0,00	0,00
62		inspection			0,50		1,01	7,54	0,06	0,00
63	△	Totals for Control Arms & Bend						14,52	0,12	0,00
64		Locking Pin			0,00	0,03	0,03	0,06	0,00	0,00
65		snap fitting			0,00	0,00	0,03	0,03	0,00	0,00
66		inspection			0,05		1,00	1,05	0,01	0,00
67	△	Totals for Rotor System						47,20	0,38	0,00

www.dfma.com

Page 8 of 16

Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.



17 Juni 2016 11:25
Rotor System

Rotor System.dfa
Product: Original

No.		Name	Piece part cost per item, \$	Tooling Investment, \$	Tooling cost per item, \$	Part or item cost, \$	Total item cost, \$	Other operation cost, \$	Total other operation cost, \$	Total cost, \$	Weight per item, g
1		Rotor System									
2		Rotor Head	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
3		Head	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
4		Forks	0,81	9	0,00	9,81	19,62			19,63	806,00
5		Plate Slop	0,79	3	0,00	3,79	3,79			3,80	394,00
6		Bearing Housing	0,50	3	0,00	3,50	3,50			3,50	248,00
7		Bolt 4 mm	0,23	0	0,00	0,23	1,84			1,87	0,00
8		Threaded fastening	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
9		Threaded fastening	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
10		Threaded fastening	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
11		Threaded fastening	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
12		Threaded fastening	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
13		Threaded fastening	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
14		Threaded fastening	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
15		Threaded fastening	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
16		Totals for Head	4,75	15	0,00		28,75		0,00	28,82	
17		Disc Rotorator	2,60	3	0,00	5,60	5,60			5,60	2000,00
18		Driven Gear	3,00	0	0,00	3,00	3,00			3,00	0,00

www.dfma.com

Page 9 of 16

Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.



17 Juni 2016 11:25
Rotor System

Rotor System.dfa
Product: Original

No.		Name	Piece part cost per item, \$	Tooling Investment, \$	Tooling cost per item, \$	Part or item cost, \$	Total item cost, \$	Other operation cost, \$	Total other operation cost, \$	Total cost, \$	Weight per item, g
19		Bar Hub	14,45	3	0,00	17,45	17,45			17,46	5723,00
20		Bush Bearing Lower	0,48	5	0,00	5,48	5,48			5,48	236,00
21		Block Teeter	0,59	9	0,00	9,59	9,59			9,59	296,00
22		Bush Bearing Upper	0,22	5	0,00	5,22	5,22			5,22	104,00
23		Bush Teeter	0,20	6	0,00	6,20	12,40			12,40	101,00
24		Torque Tube	3,98	5	0,00	3,98	3,98			3,98	1999,00
25		Rotor Shaft	3,38	0	0,00	3,38	3,38			3,38	350,00
26		push or press fitting	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
27		Bolt 8 mm	0,45	0	0,00	0,45	2,25			2,27	0,00
28		Bolt 10 mm	0,48	0	0,00	0,48	0,48			0,49	0,00
29		Threaded fastening	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
30		Threaded fastening	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
31		Threaded fastening	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
32		Threaded fastening	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
33		Threaded fastening	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
34		Inspection						0,00	0,00	0,12	0,00
35		Totals for Rotor Head	36,58	50	0,00		37,58		0,00	37,83	
36		Control Arms & Bendix Housing	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00

www.dfma.com

Page 10 of 16

Design for Assembly: Product Worksheet

Boothroyd Dewhurst, Inc.

17 Juni 2015 11:25
Rotor System

Rotor System.dfa
Product: Original

No.		Name	Piece part cost per item, \$	Tooling Investment, \$	Tooling cost per item, \$	Part or item cost, \$	Total item cost, \$	Other operation cost, \$	Total other operation cost, \$	Total cost, \$	Weight per item, g
37	▣	Bendix Housing	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
38		Pivot Lateral	0,34	9	0,00	9,34	9,34			9,34	340,00
39		Arms Plates	0,10	4	0,00	4,10	8,20			8,20	200,00
40		Bendix Housing	0,35	4	0,00	4,35	8,70			8,70	400,00
41		Bendix Housing	0,39	3	0,00	3,39	6,78			6,78	420,00
42		Bolt 4 mm	0,23	0	0,00	0,23	1,84			1,84	0,00
43		threaded fastening	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
44		threaded fastening	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
45		threaded fastening	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
46		threaded fastening	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
47		threaded fastening	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
48		threaded fastening	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
49		threaded fastening	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
50		threaded fastening	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
51	△	Totals for Bendix Housing	3,86	29	0,00		34,86		0,00	34,86	
52		Control Arms	0,53	4	0,00	4,53	9,06			9,06	370,00
53		Bolt 8 mm	0,45	0	0,00	0,45	2,25			2,25	0,00
54		Bolt 10 mm	0,48	0	0,00	0,48	0,48			0,48	0,00

www.dfma.com

Page 11 of 16

Design for Assembly: Product Worksheet

Boothroyd Dewhurst, Inc.

17 Juni 2015 11:25
Rotor System

Rotor System.dfa
Product: Original

No.		Name	Piece part cost per item, \$	Tooling Investment, \$	Tooling cost per item, \$	Part or item cost, \$	Total item cost, \$	Other operation cost, \$	Total other operation cost, \$	Total cost, \$	Weight per item, g
55		push or press fitting	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
56		threaded fastening	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
57		threaded fastening	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
58		threaded fastening	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
59		threaded fastening	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
60		threaded fastening	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
61		threaded fastening	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
62		Inspection						0,00	0,00	0,06	0,00
63	△	Totals for Control Arms & Bend	7,65	24	0,00		46,65		0,00	46,77	
64		Locking Pin	0,50	0	0,00	0,50	0,50			0,50	0,00
65		snap fitting	0,00	0	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00
66		Inspection						0,00	0,00	0,01	0,00
67	△	Totals for Rotor System	44,73	74	0,01		144,73		0,00	145,11	

www.dfma.com

Page 12 of 16

Design for Assembly: Product Worksheet

Boothroyd Dewhurst, Inc.



17 Juni 2015 11:25
Rotor System

Rotor System.dfa
Product: Original

No.		Name	Total weight, g	Material	Visit tracking	Notes
1		Rotor System			<input type="checkbox"/>	
2		Rotor Head	0.00		<input type="checkbox"/>	
3		Head	0.00		<input type="checkbox"/>	
4		Forks	1612.00	SAE 4130	<input type="checkbox"/>	
5		Plate Stop	394.00	SAE 4130	<input type="checkbox"/>	
6		Bearing Housing	248.00	2024-T3	<input type="checkbox"/>	
7		Bolt 4 mm	0.00		<input type="checkbox"/>	
8		threaded fastening	0.00		<input type="checkbox"/>	
9		threaded fastening	0.00		<input type="checkbox"/>	
10		threaded fastening	0.00		<input type="checkbox"/>	
11		threaded fastening	0.00		<input type="checkbox"/>	
12		threaded fastening	0.00		<input type="checkbox"/>	
13		threaded fastening	0.00		<input type="checkbox"/>	
14		threaded fastening	0.00		<input type="checkbox"/>	
15		threaded fastening	0.00		<input type="checkbox"/>	
16		Totals for Head	2254.00			
17		Disc Prerotator	2000.00		<input type="checkbox"/>	
18		Driven Gear	0.00		<input type="checkbox"/>	

www.dfma.com

Page 13 of 16

Design for Assembly: Product Worksheet

Boothroyd Dewhurst, Inc.



17 Juni 2015 11:25
Rotor System

Rotor System.dfa
Product: Original

No.		Name	Total weight, g	Material	Visit tracking	Notes
19		Bar Hub	5723.00	SAE 4130	<input type="checkbox"/>	
20		Bush Bearing Lower	236.00		<input type="checkbox"/>	
21		Block Teefer	296.00	2024-T3	<input type="checkbox"/>	
22		Bush Bearing Upper	104.00		<input type="checkbox"/>	
23		Bush Teefer	202.00		<input type="checkbox"/>	
24		Torque Tube	1969.00	SAE 4130	<input type="checkbox"/>	
25		Rotor Shaft	350.00		<input type="checkbox"/>	
26		push or press fitting	0.00		<input type="checkbox"/>	
27		Bolt 8 mm	0.00		<input type="checkbox"/>	
28		Bolt 10 mm	0.00		<input type="checkbox"/>	
29		threaded fastening	0.00		<input type="checkbox"/>	
30		threaded fastening	0.00		<input type="checkbox"/>	
31		threaded fastening	0.00		<input type="checkbox"/>	
32		threaded fastening	0.00		<input type="checkbox"/>	
33		threaded fastening	0.00		<input type="checkbox"/>	
34		Inspection	0.00		<input type="checkbox"/>	Acquire and replace a caliper or micrometer and
35		Totals for Rotor Head	13154.00			
36		Control Arms & Bendix Housing	0.00		<input type="checkbox"/>	

www.dfma.com

Page 14 of 16

Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.



17 Juni 2015 11:25
Rotor System

Rotor System.dfa
Product: Original

No.		Name	Total weight, g	Material	Visit tracking	Notes
37	▣	Bendix Housing	0,00		<input type="checkbox"/>	
38		Pivot Lateral	340,00	SAE 4130	<input type="checkbox"/>	
39		Arms Plates	400,00		<input type="checkbox"/>	
40		Bendix Housing	800,00		<input type="checkbox"/>	
41		Bendix Housing	840,00		<input type="checkbox"/>	
42		Bolt 4 mm	0,00		<input type="checkbox"/>	
43		threaded fastening	0,00		<input type="checkbox"/>	
44		threaded fastening	0,00		<input type="checkbox"/>	
45		threaded fastening	0,00		<input type="checkbox"/>	
46		threaded fastening	0,00		<input type="checkbox"/>	
47		threaded fastening	0,00		<input type="checkbox"/>	
48		threaded fastening	0,00		<input type="checkbox"/>	
49		threaded fastening	0,00		<input type="checkbox"/>	
50		threaded fastening	0,00		<input type="checkbox"/>	
51	△	Totals for Bendix Housing	2380,00			
52		Control Arms	740,00		<input type="checkbox"/>	
53		Bolt 8 mm	0,00		<input type="checkbox"/>	
54		Bolt 10 mm	0,00		<input type="checkbox"/>	

www.dfma.com

Page 15 of 16

Design for Assembly: Product Worksheet
Boothroyd Dewhurst, Inc.



17 Juni 2015 11:25
Rotor System

Rotor System.dfa
Product: Original

No.		Name	Total weight, g	Material	Visit tracking	Notes
55		push or press fitting	0,00		<input type="checkbox"/>	
56		threaded fastening	0,00		<input type="checkbox"/>	
57		threaded fastening	0,00		<input type="checkbox"/>	
58		threaded fastening	0,00		<input type="checkbox"/>	
59		threaded fastening	0,00		<input type="checkbox"/>	
60		threaded fastening	0,00		<input type="checkbox"/>	
61		threaded fastening	0,00		<input type="checkbox"/>	
62		inspection	0,00		<input type="checkbox"/>	Acquire and replace a caliper or micrometer and
63	△	Totals for Control Arms & Bend	3120,00			
64		Locking Pin	0,00		<input type="checkbox"/>	
65		snap fitting	0,00		<input type="checkbox"/>	
66		inspection	0,00		<input type="checkbox"/>	Acquire and replace a caliper or micrometer and
67	△	Totals for Rotor System	16274,00			

www.dfma.com

Page 16 of 16

Design for Assembly: Structure Chart

Boothroyd Dewhurst, Inc.

17 Jun 2015 11:25
Rotor System

Rotor System.dfa
Product: Original



www.dfma.com

Page 1 of 2

Design for Assembly: Structure Chart

Boothroyd Dewhurst, Inc.

17 Juni 2015 11:25
Rotor System

Rotor System.dfa
Product: Original

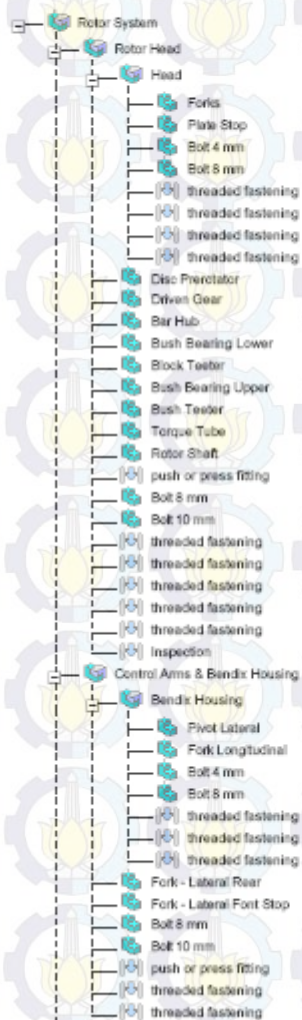
- ☒ threaded fastening
- ☒ threaded fastening
- ☒ threaded fastening
- ☒ Control Arms
- ☒ Bolt 8 mm
- ☒ Bolt 10 mm
- ☒ push or press fitting
- ☒ threaded fastening
- ☒ threaded fastening
- ☒ threaded fastening
- ☒ threaded fastening
- ☒ threaded fastening
- ☒ Inspection
- ☒ Locking Pin
- ☒ snap fitting
- ☒ Inspection

Design for Assembly: Structure Chart

Boothroyd Dewhurst, Inc.

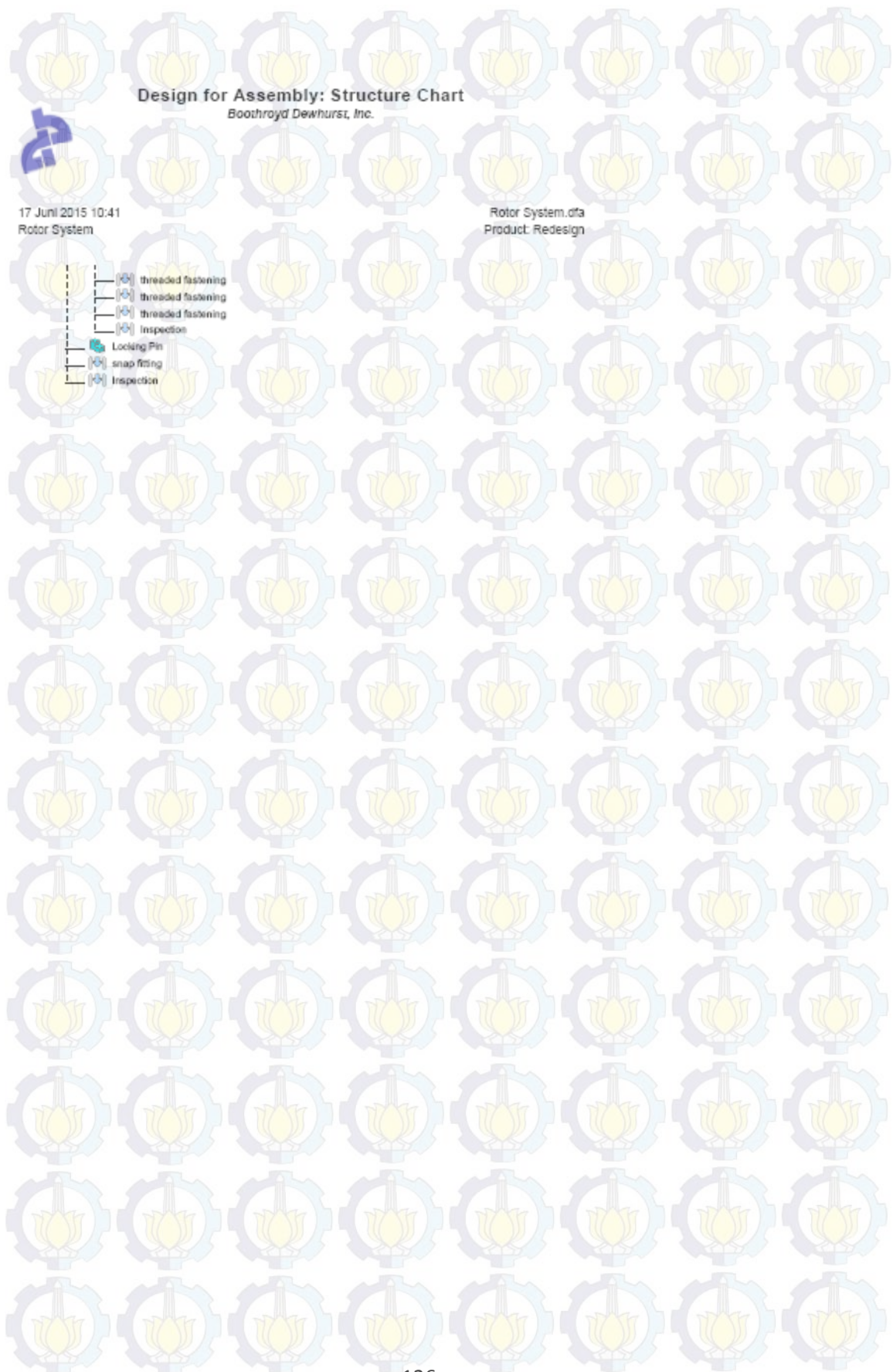
17 Juni 2015 10:41
Rotor System

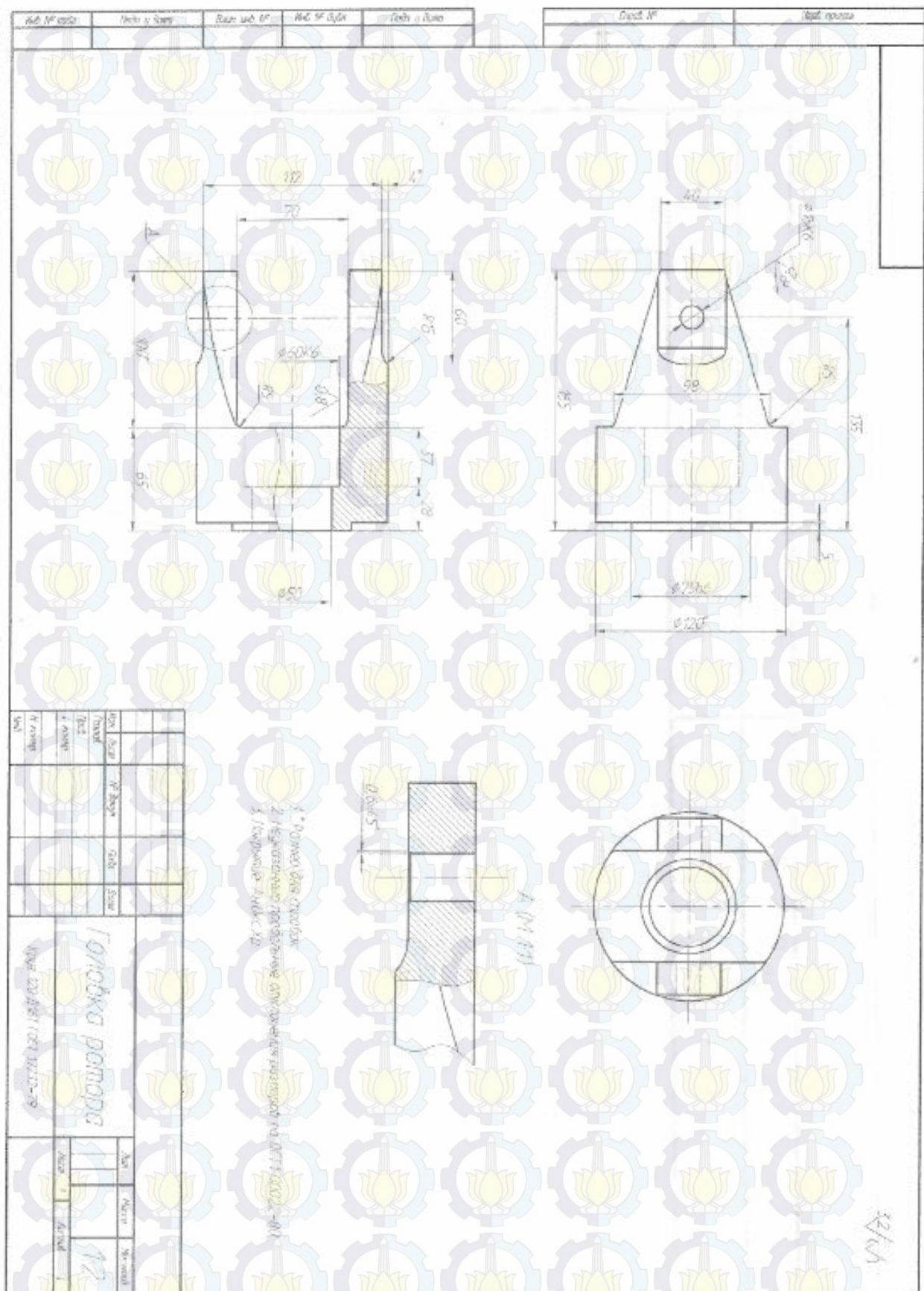
Rotor System.dfa
Product: Redesign

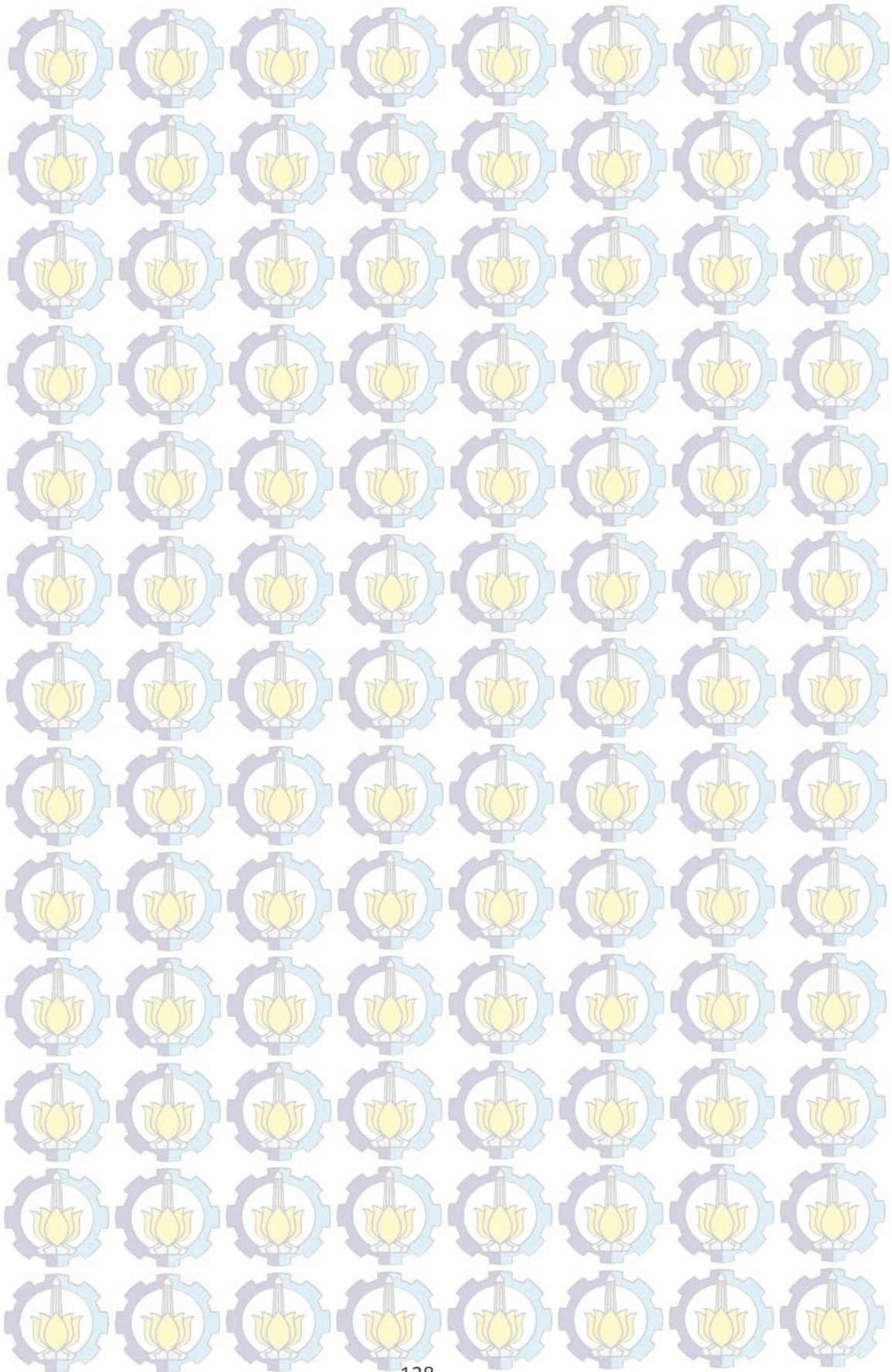


www.dfma.com

Page 1 of 2







DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Rekap Data Perbaikan dari Penerapan DFM/DFA	4
Tabel 2.1	Contoh <i>Worksheet</i> Boothroyd-Dewhurst DFA	20
Tabel 4.1	Daftar <i>Part</i> Penyusun <i>Rotor Head Gyroplane</i>	45
Tabel 4.2	Bahan Baku Komponen Penyusun <i>Rotor Head</i>	47
Tabel 4.3	Urutan Proses Perakitan	49
Tabel 4.4	Biaya Perakitan	50
Tabel 4.5	Pendefinisian <i>Part</i>	52
Tabel 4.6	<i>Securing Method</i>	53
Tabel 4.7	<i>Minimum Part Criteria</i>	54
Tabel 4.8	Dimensi Komponen	55
Tabel 4.9	<i>Symmetry</i>	57
Tabel 4.10	<i>Handling Difficulties</i>	58
Tabel 4.11	<i>Manufacturing Data</i>	59
Tabel 4.12	<i>Executive Summary</i> DFA	61
Tabel 4.13	Komponen yang Dapat Digabung atau Dieliminasi	62
Tabel 4.14	Waktu dan Biaya Tenaga Kerja Proses Perakitan Desain Awal	63
Tabel 4.15	Komponen Penyusun Desain Perbaikan	65
Tabel 4.16	Pendefinisian <i>Part</i>	68
Tabel 4.17	<i>Securing method</i>	69
Tabel 4.18	<i>Minimum Part Criteria</i>	70
Tabel 4.19	<i>Envelope Dimension</i>	70
Tabel 4.20	<i>Symmetry</i>	71
Tabel 4.21	<i>Handling Difficulties</i> dan <i>Insertion Difficulties</i>	72
Tabel 4.22	<i>Manufacturing Data</i>	73
Tabel 4.23	Analisis Total DFA	74
Tabel 4.24	Waktu dan Biaya Tenaga Kerja Proses Perakitan Desain Perbaikan	76
Tabel 4.25	Komponen Utama Penyusun <i>Rotor Head</i> untuk <i>Assembly Sequence</i>	77
Tabel 4.26	<i>Precedence Constraint</i>	78

Tabel 4.27 Tahapan Perakitan	78
Tabel 4.28 Peta Tangan Kiri dan Tangan Kanan Perakitan Awal.....	82
Tabel 4.29 Peta Tangan Kiri dan Tangan Kanan Perbaikan.....	92
Tabel 4.30 Waktu dan Biaya Tenaga Kerja Proses Perakitan Desain Perbaikan dengan <i>Fixture</i>	97
Tabel 5.1 <i>Suggestion for Redesign</i>	101
Tabel 5.2 Perbandingan Perakitan Desain Awal dan Perbaikan	105

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Lamongan, 18 April 1994 dengan nama lengkap Holly Aphrodita dan biasa dipanggil Holly. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara, pasangan Solikin dan Ambar Sri Wahyuning Tyas. Penulis menempuh pendidikan dasar hingga menengah di Kota Babat di SDN Mojorejo III, SMPN 1 Modo dan SMAN 1 Babat. Pada tahun 2011, penulis melanjutkan jenjang pendidikan Strata 1 sebagai mahasiswa di Jurusan Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama menempuh pendidikan S-1, penulis aktif dalam mengikuti kegiatan kehumasan di bawah Badan Koordinasi, Pengendalian dan Komunikasi Program dan mempublikasikan pemberitaan kampus di *website* resmi ITS.m Penulis juga aktif dalam kegiatan kampus di Lembaga Dakwah Jurusan dan menjadi pengajar di HMTI Mengajar. Selama pendidikan, penulis juga mengikuti pelatihan dan seminar seperti LKMM Pra-TD, LKMM TD, *Training Software Arena*, *Training Logware*, Pelatihan Jurnalistik Regional Surabaya dan Seminar *Port Development* antara Indonesia-Belanda.

Bidang minat penulis selama perkuliahan adalah Sistem Manufaktur, *Production Planning and Inventory Control*, *Concurrent Engineering*, Manajemen Keuangan, *Quality Control*, dll. Untuk kepentingan terkait penelitian ini, penulis dapat dihubungi melalui surel holly.aphrodita@yahoo.co.id